

COLLECTION PAYOT

Le Mouvement scientifique contemporain en France

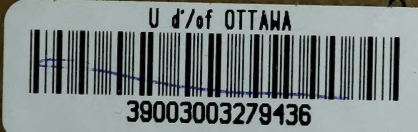
I

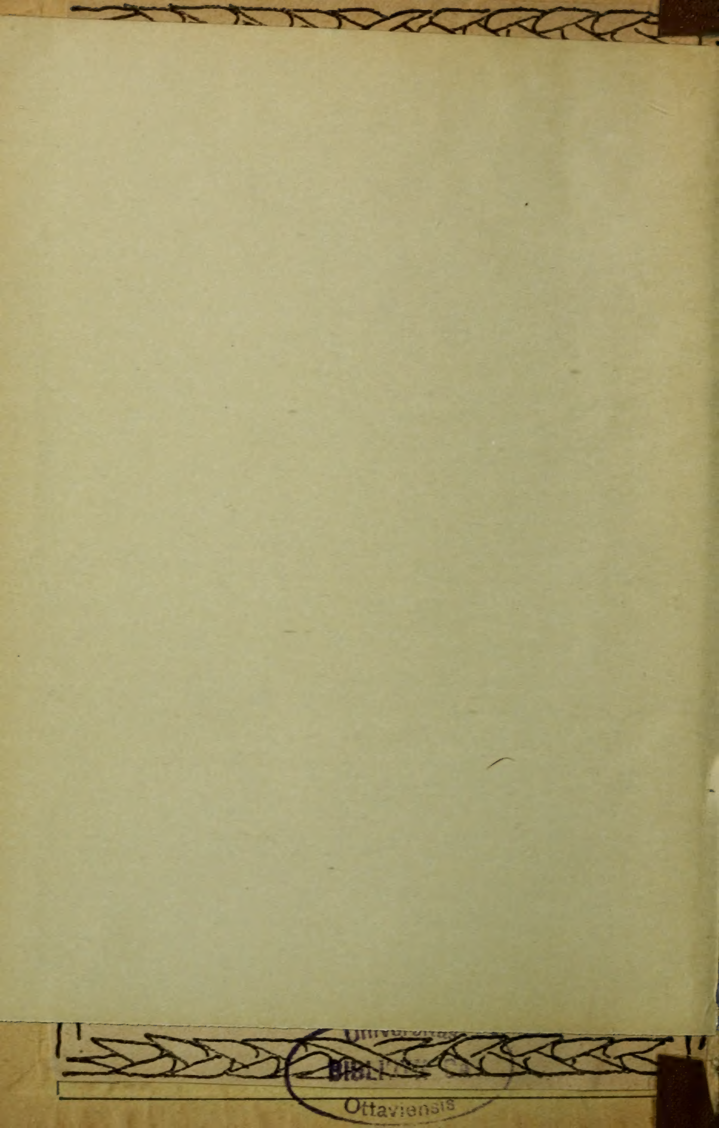
LES SCIENCES NATURELLES

PAR

GEORGES MATISSE
DOCTEUR ÈS SCIENCES

Avec 25 figures




Ottaviensis

N° 7. COMMANDANT DE CIVRIEUX

LA GRANDE GUERRE (1914-1918)
APERÇU D'HISTOIRE MILITAIRE

N° 8. HENRI CORDIER
Membre de l'Institut

LA CHINE

N° 9. ERNEST BABELON
Membre de l'Institut
Conservateur du cabinet des Médailles
Professeur au Collège de France

LES MONNAIES GRECQUES
APERÇU HISTORIQUE

N° 10. GEORGES MATISSE
Docteur ès-sciences

LE MOUVEMENT SCIENTIFIQUE CONTEMPORAIN EN FRANCE
I. — LES SCIENCES NATURELLES

N° 11. Dr PIERRE BOULAN

LES AGENTS PHYSIQUES ET LA PHYSIOTHÉRAPIE

N° 12. HIPPOLYTE LOISEAU
Professeur de langue et de littérature allemandes à l'Université de Toulouse

LE PANGERMANISME
CE QU'IL FUT — CE QU'IL EST

Les volumes de la COLLECTION PAYOT d'un format portatif et commode se vendent 4 francs reliés bien qu'ils contiennent, grâce à un caractère à la fois compact et très lisible, la matière d'un volume in-seize de deux cent soixante-dix mille lettres du prix de sept francs cinquante centimes broché.

M. GEORGES MATISSE

GEORGES MATISSE est né à Nevers, où il passa sa première enfance. A l'Université de Paris il a étudié successivement les Mathématiques et la Biologie. Il voulut voir aussi les pays étrangers et séjourna en Allemagne et en Angleterre. Docteur ès science, sa thèse, travail considérable qui lui demanda plusieurs années de recherches fut remarquée en France et à l'Etranger. Elle porte sur une question très générale de Physique biologique. Elle a été publiée en volume sous le titre : *Action de la Chaleur et du froid sur l'activité motrice des êtres vivants.* L'auteur a réussi à expliquer, à l'aide des lois de la Chimie physique, le phénomène très général de l'*Optimum* en Biologie et des rythmes physiologiques.

Dans le mouvement scientifique contemporain dont il a suivi assidûment le développement il s'est intéressé particulièrement aux conceptions philosophiques. C'est ce que montrent bien ses articles, livres et mémoires dont voici les principaux :

ESSAI PHILOSOPHIQUE SUR L'ÉNERGÉTIQUE.

LE PRINCIPE DE LA CONSERVATION DE L'ASSISE ET SES APPLICATIONS : ESSAI SUR UN PRINCIPE GÉNÉRAL D'ÉNERGÉTIQUE.

LE TEMPS ET L'ILLUSION DE CAUSALITÉ.

LA THÉORIE MOLÉCULAIRE ET LA SCIENCE CONTEMPORAINE.

LES HYPOTHÈSES COSMOGONIQUES : A PROPOS D'UN LIVRE DE M. H. POINCARÉ.

LES MÉTHODES DE LA PSYCHOLOGIE.

LE TALENT MUSICAL ET SES CONDITIONS ANATOMIQUES.

L'INTELLIGENCE ET LE CERVEAU.

LES SENS CRÉATEURS DES APTITUDES.

PSYCHOLOGIE ZOOLOGIQUE.

LES GRANDS SUJETS DE LA BIOLOGIE.

LA CHALEUR ET LES PHÉNOMÈNES DE LA VIE.

LA PENSÉE RÉPOND-ELLE A UNE MISE EN JEU D'ÉNERGIE ?

L'INFLUENCE DE LA PHILOSOPHIE DE M. BERGSON SUR LA PENSÉE PHILOSOPHIQUE CONTEMPORAINE.

LES RUINES DE L'IDÉE DE DIEU.

LES RAPPORTS ENTRE LES SCIENCES DE L'HUMANITÉ ET LES SCIENCES DE LA NATURE, etc.

Sans compter les traductions suivantes :

Willard Gibbs : L'ÉQUILIBRE DES SUBSTANCES HÉTÉROGÈNES, exposé abrégé par Willard Gibbs, traduit et complété de notes explicatives par Georges Matisse.

Keith Lucas : LA CONDUCTION DE L'INFLUX NERVEUX.

L. Silberstein : ÉLÉMENTS D'ALGÈBRE VECTORIELLE ET D'ANALYSE VECTORIELLE.

COLLECTION PAYOT

DIRECTEUR : GEORGES BATAULT

GEORGES MATISSE

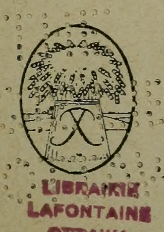
DOCTEUR ÈS SCIENCES

LE MOUVEMENT SCIENTIFIQUE CONTEMPORAIN EN FRANCE

I

LES SCIENCES NATURELLES

Avec 25 figures dans le texte



PAYOT & Cie, PARIS

106, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1921

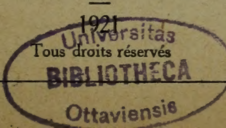


TABLE DES MATIÈRES

ZOOLOGIE ET BIOLOGIE GÉNÉRALE

BOTANIQUE

ZOOLOGIE ET BIOLOGIE GÉNÉRALE

CHAPITRE PREMIER

H. LACAZE-DUTHIERS : LA CRÉATION DES LABORATOIRES MARITIMES LA ZOOLOGIE EXPÉRIMENTALE

Le commencement du XIXe siècle fut une grande époque pour les Sciences de la nature. Cuvier, Etienne et Isidore Geoffroy-Saint-Hilaire, Lamarck, Latreille, de Blainville, Dujardin, Dutrochet, Flourens, venaient de fonder l'Anatomie comparée, la Paléontologie, la Zoologie, la Physiologie des Vertébrés et la Philosophie zoologique. Lamarck, par un effort de son génie, avait peint à grandes fresques le tableau du monde des Invertébrés. Personne, jusqu'à cette époque, n'avait soupçonné l'immensité de ce nouveau monde, ou plutôt de ces nouveaux mondes, auprès desquels l'embranchement des Vertébrés n'apparaît que comme une petite île séparée.

Pendant le second tiers du XIXe siècle, Henri Milne-Edwards et de Quatrefage étendirent l'œuvre de leurs prédécesseurs, Cuvier et Lamarck, en étudiant et décrivant, avec beaucoup de soin et d'habileté, plusieurs espèces ou groupes nouveaux ou encore peu connus de Crustacés, d'Annélides et d'autres Invertébrés. HENRI MILNE-ED-

WARDS, après avoir publié, comme résultat de ses recherches, ses *Suites à Buffon*, et son *Histoire des Crustacés*, illustrées de nombreuses et belles planches dessinées par lui-même, acheva sa carrière en écrivant ses fameuses *Leçons sur l'Anatomie et la Physiologie comparées* (14 volumes).

D'ORBIGNY, à la même époque, voyageant dans les deux Amériques, et consacrant plusieurs années à l'exploration du Brésil et du bassin de l'Amazone, rassemblait une quantité d'observations, de matériaux, de dessins d'animaux vivants et fossiles du nouveau continent. Après son retour en Europe, il continua ses recherches paléontologiques dans cette partie du monde, étendant ses études aux Invertébrés, principalement aux Mollusques, déterminant les caractères, dessinant et décrivant plus de 30.000 espèces. Il fut nommé professeur de Paléontologie au Muséum d'Histoire naturelle de Paris. La chaire de Paléontologie fut créée spécialement à son intention. Il conçut et osa initier une entreprise gigantesque : la description et la représentation de toutes les espèces fossiles du monde. Cette publication avait pour titre *La Paléontologie universelle*. Il fut contraint, par l'ampleur excessive de cette tâche qui dépassait le pouvoir d'un homme, de l'abandonner. Il publia, à la place, une œuvre plus limitée, mais réellement admirable : *La Paléontologie française*, revue périodique.

Jusqu'à la fin du second tiers du XIXe siècle, cependant, l'étude de la faune immense des Invertébrés marins restait difficile et incomplète. Quand Henri Milne-Edwards ou de Quatrefages voulaient étudier l'anatomie ou le développement de quelque Crustacé marin ou de quelque Annélide, ils étaient obligés d'emballer microscope, loupe, instruments de dissection, verrerie, papier, crayons, pinceaux, encre,

couleurs, et de se rendre, par diligence, sur la côte de Bretagne ou de Normandie. Là, ils se mettaient en quête de quelque auberge ou de quelque masure où ils s'installaient avec leurs instruments. Ils y travaillaient sans confort, souvent manquant de lumière, disséquant dans une cuvette, et gardant des animaux vivants dans un pot. D'excellent travail fut fait dans ces conditions. Mais, à mesure que la technique devint plus compliquée, l'insuffisance de cette installation commença à se faire sentir. Beaucoup de zoologistes rapportaient à leurs laboratoires, dans des villes éloignées, des animaux ramassés sur la plage et conservés dans l'alcool, mais ils ne pouvaient pas avoir de spécimens frais ni étudier les animaux vivants.

HENRI LACAZE-DUTHIERS songea à établir, sur le bord même de la mer, un vrai laboratoire. Il fut le premier en Europe à réaliser ce projet. Il fonda en 1870, à Roscoff, sur la côte de Bretagne, le premier de ces laboratoires maritimes qui, depuis, se sont multipliés dans tous les pays. L'idée première et le projet initial, toutefois, n'étaient pas identiques à ce qui fut décidé finalement et exécuté. Lacaze-Duthiers avait d'abord songé à créer un laboratoire qui fût une station centrale, d'où partiraient des expéditions scientifiques, allant explorer des points de la côte, plus ou moins éloignés. C'était, dans sa conception, une sorte de centre d'approvisionnement ou de magasin. Il pensait, à cette époque, à dresser un inventaire zoologique des côtes de France. « Mon vœu, disait-il, n'est pas de fonder un laboratoire, une station bien établie à Roscoff. Je voudrais, entouré de jeunes et zélés travailleurs, parcourir successivement toutes les côtes de France. Un peu de nouveauté sur la plage ne nuit pas à l'attrait des recherches. La curiosité est tenue en éveil

par l'exploration de nouveaux rivages. Il y a plus d'ardeur dans le travail... Mon but serait, en nous partageant le règne animal, de constituer une histoire de la faune de nos côtes. Chacun de nous conserverait sa pleine liberté de pensée, de travail et d'exposition ».

Lacaze-Duthiers avait lui-même, pendant les vingt années précédentes, parcouru et fouillé toutes les côtes de France, de Calais à Saint-Jean-de-Luz. Il avait passé tantôt un jour, tantôt plusieurs mois à Villefranche, à Nice, à Antibes, à Barcelone, dans les îles Baléares ou bien sur la côte d'Afrique, d'Alger à Tunis. Mais il connaissait d'expérience les inconvénients de ces observations trop rapides et trop courtes ; elles n'apprennent rien sur la vraie biologie des animaux. Les études de biologie exigent de la stabilité, parce qu'elles demandent une connaissance approfondie des conditions parmi lesquelles se développent les êtres vivants.

De tous les points des côtes de France qu'il avait explorés, le plus riche, le plus varié quant à la faune, lui sembla être Roscoff. Là, au fond de la Bretagne, à la pointe d'un promontoire s'avançant dans la Manche, entre la rivière de Morlaix et la baie du Pouldu, il fonda, en 1870, ce premier laboratoire maritime, dont la pensée le hantait. A Roscoff, chaque jour, la mer se retire très loin et laisse exposée une immense grève semée, ici de grosses pierres et d'éboulis rocheux, ailleurs présentant du sable ou de la vase. Une branche du Gulf Stream vient baigner la côte. Elle apporte dans ses eaux chaudes une multitude d'animaux et de larves qui se fixent aux rochers, s'enfoncent dans le sable du rivage ou prospèrent parmi les algues ou les zostères. Entre les rochers de granit et les îles et dans les petits ruisseaux où s'écoule l'eau de mer, on trouve : « des Ascidies simples et

composées, des Bryozoaires, des Sertulaires, des Eponges, principalement des Eponges calcaires, des Echinodermes, des Synaptes, des Lucernaires, des Caryophyllies, beaucoup d'Actinies, des Planaires et de nombreux Mollusques qui apportent au zoologiste une compensation pour la peine qu'il s'est donnée en fouillant la plage ».

Dans la zone des Laminaires, longues algues en forme de rubans, pendant les grandes marées de syzygie, quand la mer se retire très loin, on trouve dans les ruisseaux d'eau salée, parmi les touffes de Sargasses branchues, le *Pentacrinus Europeus*, la larve de *Comatule*. Cette larve relie les Echinodermes de l'époque actuelle aux formes gigantesques et gracieuses des âges géologiques. « Je pus, dit Lacaze-Duthiers, recueillir, sur la plage même, de magnifiques exemplaires. Je trouvai des Pentacrines de tous les âges et je les conservai vivants assez longtemps. Les plus grands, après s'être déplacés et avoir pris ces formes si gracieuses auxquelles ils doivent leur nom, subirent leur métamorphose sous mes propres yeux. Ils perdirent leurs tiges caractéristiques de la forme crinoïde, devinrent libres et allèrent se mêler aux Comatules adultes, où il fut impossible de les reconnaître. »

Bien que fondé en fait en 1870, le nouveau laboratoire maritime n'eut son existence officiellement reconnue et sanctionnée qu'en 1872. C'est que la guerre de 1870 et le désastre qui en résulta pour la France avaient interrompu l'œuvre commencée.

Deux ans plus tard, en 1874, Lacaze-Duthiers donna, dans les *Archives de zoologie expérimentale*, une description du laboratoire. C'est encore un très pauvre et très simple laboratoire, comparé à ce qu'il est devenu depuis. Les travailleurs vont eux-mêmes chercher l'eau dans la mer à

marée haute. C'est une maison toute simple, au bord de la mer, près de l'église de Roscoff, une jolie église à clocher ajouré. Il y a une terrasse dominant la mer, une sorte de salon au rez-de-chaussée où les travailleurs peuvent se réunir ; elle contient des baromètres, des thermomètres, des balances, des cartes, marines et terrestres, des livres, etc. « Le nombre des chambres à donner aux chercheurs n'est pas très considérable : 5 chambres spacieuses, bien éclairées, avec vue sur la mer, sans aucun luxe, mais convenablement meublées, offrent les meilleures conditions pour l'étude. »

Lacaze-Duthiers complète la description du laboratoire : dans chaque chambre le zoologiste trouve non seulement ce qui est nécessaire à la vie, mais encore au travail, des cartes, des instruments tels que ciseaux, pinces, microscopes, loupes montées, seringues, ciseaux à froid, des baquets, des bocaux de verre, des paniers.

Une cuve assez vaste a été construite sur la terrasse au bord de la mer. On la remplit avec une pompe, à la sueur de son front. L'eau est distribuée, de là, par une série de tubes de verre, à de petits aquariums installés sous un hangar, en face des tables de travail.

Enfin, le laboratoire possède deux bateaux : l'un à fond plat, à faible tirant d'eau, pour fouiller les recoins des rochers à marée basse, l'autre, une grande barque de pêche à deux mâts, permet d'aller draguer au large.

Tel est le premier laboratoire maritime français, vu quatre ans après sa fondation. Depuis lors, grâce à l'énergie et à l'initiative de Lacaze-Duthiers d'abord, puis de M. Yves Delage, qui en est devenu plus tard le directeur, le laboratoire de Roscoff n'a cessé de s'accroître et de s'enrichir. Aujourd'hui, c'est un vaste établissement scientifique admirablement aménagé. Une grande salle d'aquarium est

installée au rez-de-chaussée. Au centre de celle-ci se trouve un large bassin constamment alimenté d'eau fraîche ; de petits aquariums de verre sont disséminés autour de la pièce. Là, vivent et se multiplient toutes sortes d'animaux, des *Venus*, des *Spirographis*, des *Maïa*, des *Aphrodites*, de grandes *Etoiles-de-Mer*, des *Oursins*, des *Bernards l'ermite*, des *Tritons* et des *Mactres*, des Poissons variés et, dans le grand bassin central, des Pieuvres.

Une machine à vapeur, reliée à un long système de canalisation, puise au loin l'eau de mer et la distribue à toutes les pièces du laboratoire. Chaque travailleur dispose de plusieurs robinets et cuves et peut avoir un courant continu d'eau de mer. Les chambres des travailleurs ont disparu. Elles ont été remplacées par une grande bibliothèque contenant les ouvrages, brochures, revues, tirages à part, français et étrangers, relatifs à la Zoologie et à la Biologie marine. Le nombre des laboratoires particuliers, pour les chercheurs qui poursuivent des travaux personnels, est très grand. Ils ont reçu des améliorations de toute nature. Il y a également des chambres de photographie, un laboratoire de chimie, un de psychologie animale.

M. Delage a également installé des laboratoires d'élèves, destinés aux étudiants qui viennent pour la première fois prendre connaissance de la faune marine. Les étudiants sont d'ailleurs guidés, conseillés, renseignés par deux préparateurs spécialement chargés de ce soin. Tous les jours ont lieu des excursions en commun sur la plage : on voit les animaux vivants dans leur habitat naturel, avant de les disséquer. Tous les jours, aussi, ont lieu des dissections d'animaux par les étudiants.

Le laboratoire est pourvu d'une grande goëlette à voile et à moteur, capable de contenir un grand nombre de per-

sonnes et d'aller faire des expéditions lointaines. Le bateau est muni de tous les instruments de dragage modernes, et porte, dans ses flancs, un réservoir communiquant avec la mer.

Chaque année, un essaim de travailleurs : savants illustres ou étudiants, français et étrangers, accourent en ce lieu hospitalier où ils sont sûrs d'être bien reçus.

L'exemple donné par Lacaze-Duthiers, en créant un laboratoire maritime, rattaché à la chaire de Zoologie de la Sorbonne, n'a pas tardé à être compris et suivi par d'autres établissements scientifiques. Aujourd'hui les côtes de France sont semées de laboratoires maritimes. On en trouve à Wimereux, à Boulogne-sur-Mer, à Saint-Vaast-la-Hougue, à Luc-sur-Mer, à Concarneau, à Arcachon, à Banyuls, à Cette, à Villefranche, à Marseille, à Tamaris, à Monaco. Ce dernier, fondé par le prince de Monaco, est spécialement consacré à la biologie des grands fonds.

LES ARCHIVES DE ZOOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — Au moment même où il fondait le premier laboratoire maritime d'Europe, celui de Roscoff, en 1870, Lacaze-Duthiers lançait les *Archives de Zoologie expérimentale*. Le premier numéro était imprimé déjà, lorsque la guerre éclata. Ce premier numéro ne put être livré à la publicité qu'un an et demi plus tard, en janvier 1872. Il figure en tête du premier volume des *Archives*.

Les *Archives de Zoologie expérimentale* n'étaient pas seulement une très importante publication périodique de Zoologie; elles étaient un programme et un manifeste. Elles entendaient entraîner la Zoologie dans une voie nouvelle, la renouveler, en faisant d'elle une *science expérimentale*.

Dès l' « Introduction » placée en tête du premier numéro,

l'orientation nouvelle est nettement proclamée, le caractère de science expérimentale hautement revendiqué pour la Zoologie.

Claude Bernard, le maître incontesté de la Physiologie d'alors, venait de diviser les sciences en deux grands groupes : les *sciences expérimentales,* comprenant la Physique, la Chimie et la Physiologie, et les *sciences d'observation ou de contemplation* : Minéralogie, Géologie, Botanique, Zoologie, Astronomie.

Bien entendu, Claude Bernard met les premières, — parmi lesquelles se trouve la science qu'il cultive, — fort au-dessus des secondes : la Géologie, la Botanique, la Zoologie, l'Astronomie, ne peuvent aboutir qu'à la prévision ; les sciences d'expérimentation sont « explicatives, actives et conquérantes de la nature ». « L'observateur, dit-il, considère les phénomènes dans les conditions où la nature les lui offre. L'expérimentateur les fait apparaître dans les conditions dont il est le maître... La Chimie et la Physique ont conquis la nature minérale. La Physiologie doit conquérir la nature vivante. C'est là son rôle ».

Lacaze-Duthiers bondit sous l'outrage fait à sa science bien-aimée. Il met son point d'honneur à ce que la Zoologie ne soit inférieure à aucune autre science. Il revendique véhémentement pour elle le titre de science expérimentale. « La Zoologie, dit-il, peut être rangée, comme la Physiologie, parmi les sciences expérimentales. »

Lacaze-Duthiers s'engage alors dans une longue discussion avec Claude Bernard sur ce qu'il faut entendre par une *expérience.* Cette discussion nous fait sourire aujourd'hui, mais les savants du temps prenaient la chose fort gravement. C'était Lacaze-Duthiers qui avait raison. Claude Bernard se faisait une idée fausse de la Zoologie : il la voyait encore telle

qu'elle avait existé au temps de Linné et de Cuvier, bornée à des descriptions morphologiques. Il prenait un aspect transitoire de l'évolution de cette science pour un caractère essentiel. Entre l'observation et l'expérience, il n'y a pas d'ailleurs cette division tranchée qu'essayait d'établir Claude Bernard. La définition précise de ce qui constitue une expérience est assez difficile à donner. La meilleure riposte faite par Lacaze-Duthiers à son adversaire fut de montrer des exemples précis d'expériences zoologiques. Lacaze-Duthiers fit observer, en effet, qu'il avait pu produire à volonté des monstres doubles d'un petit Mollusque, la *Bulla aperta*. En tracassant l'animal au moment où il pondait ses œufs, celui-ci, dans sa hâte, enfermait deux œufs dans la même coque gélatineuse. Ces deux œufs, en se segmentant ensuite, venaient à se souder et donnaient régulièrement un monstre double. Est-ce une expérience, demande Lacaze-Duthiers à Claude Bernard, ou une contemplation ? C'est une « observation provoquée », donc une expérience. Le résultat, en outre, comme le requiert Claude Bernard, est obtenu d'une façon constante, certaine. Lacaze-Duthiers cite encore d'autres exemples de véritables expériences en Zoologie.

Cette discussion que nous sommes tentés de trouver puérile, eut peut-être une grande influence sur l'évolution ultérieure des Sciences naturelles.

Elle conduisit, en outre, Lacaze-Duthiers à mettre en lumière un caractère spécial inhérent aux expériences de Biologie. C'est que ces expériences portent sur des objets ayant une « *activité propre,* » « *un principe d'action, conséquence de leur organisation, auquel sont dûs de nombreux phénomènes indépendants de l'homme* ». Ce caractère vicie l'action préparée par l'expérimentateur ; d'autre part il peut y avoir

expérience en dehors de toute action directe de l'homme.

La conséquence la plus importante de ce débat fut d'accélérer la transformation de la Zoologie de science descriptive en science expérimentale. « La Zoologie ne répondra sérieusement au reproche, dit Lacaze-Duthiers, qu'en entrant résolument dans la voie féconde de l'expérimentation ».

Si Lacaze-Duthiers ne fit guère lui-même de Zoologie expérimentale — il appartenait à l'époque antérieure ou plus exactement, avec Henri Milne-Edwards, à l'époque de transition — en revanche, ses élèves et ses successeurs firent jouer à celle-ci un rôle important dans le développement contemporain des Sciences Naturelles en France, sous les noms nouveaux de Biologie, Morphologie dynamique, Embryologie expérimentale, etc.

L'ŒUVRE SCIENTIFIQUE. — La méthode de prédilection de Lacaze-Duthiers consistait à suivre pas à pas le développement embryologique, depuis l'œuf jusqu'à la forme adulte, à voir ainsi se construire peu à peu, ou se déformer, les êtres vivants. Cette méthode lui a permis de déchiffrer beaucoup de formes anormales qui présentaient jusqu'alors de véritables énigmes aux Zoologistes. « Il ne faut pas voir, a-t-il écrit, une période seulement de la vie des animaux. On ne peut bannir l'étude de la reproduction et des métamorphoses. »

Son premier travail personnel fut une étude sur l'*Armature génitale des Insectes*, qui fit le sujet de sa thèse pour le doctorat ès-sciences, en 1853. Les descriptions sont extrêmement fidèles. Il publia ensuite une série de mémoires scientifiques sur : l'organisation d'*Anomia ephippium* ; les branchies des *Lamellibranches* ; l'organisation de la Bonellie ; le déve-

loppement du *Dentale* ; l'anatomie du *Poulpe (Octopus)* ; le système nerveux des *Haliotides* ; l'embryologie des *Vermēts* ; le système nerveux des *Mollusques* ; les *Antipathaires* ; la couleur des *Alcyonaires* expliquée par l'histologie ; une monographie de la *Molgule*, Ascidie simple ayant une larve anoure qui n'effectue que des mouvements amiboïdes ; une étude anatomique du *Tridacne*. Mais son travail le plus important est son étude approfondie des *Coralliaires*. Il en suivit le développement depuis la formation de l'œuf et du spermatozoïde jusqu'à l'état adulte. Après avoir, au cours de deux étés successifs passés à La Calle, réussi, à force de travail, de patience et d'habileté, « à déterminer les conditions permettant aux œufs de se développer » et vu « naître dans ses aquariums de petits bancs de Madrépores sur lesquels il put suivre à loisir tout le développement des cloisons », il publia une étude magistrale, accompagnée d'un atlas contenant plus de 300 figures en couleurs dessinées et peintes par lui.

Plus tard, il agrandit encore ce sujet d'étude, et donna, dans les *Archives de Zoologie expérimentale* (1er et 2e volumes) une étude d'ensemble, analytique et synthétique, du développement des Coralliaires. Son travail, cette fois, embrassait à la fois les Actiniaires sans Polypiers (dont il étudiait en détail 3 espèces : *Actinia mesembryanthemum* ; *Sagartia bellis* ; et *Bunodes gemmacea)*, et les Actiniaires à Polypiers *(Astroïdes calycularis)*. Il décrivait minutieusement la formation des loges, par cloisonnements successifs, la pousse des tentacules, etc. Il découvrit les lois compliquées auxquelles obéit cette morphogénèse.

C'est à l'occasion de ces recherches sur le développement morphogénique des Coralliaires, que Lacaze-Duthiers découvrit ce principe général de Zoologie, principe qu'on a

pu déclarer « aussi fécond que celui des connexions », et qu'il a appelé « *loi de régularisation secondaire des parties* ». « Il arrive que, dans un même organisme, des parties semblables, et semblablement disposées chez l'adulte, présentent néanmoins des valeurs différentes et des *différences originelles, mais qui se sont atténuées ou masquées au cours du développement* et que ne peut révéler l'observation faite à un seul moment de la vie »[1].

Le principe des connexions apprend à reconnaître, sous la dissemblance des formes, la similitude des parties homologues. La loi de régularisation des parties apprend à découvrir, sous la similitude des formes et des dispositions, des parties, d'origine, d'âge et de signification différents. Mais pour cela, l'examen anatomique de l'adulte ne suffit plus. Il faut faire une étude embryologique. On voit alors, par exemple, un animal à symétrie bilatérale à l'origine, prendre un aspect rayonné, par le déplacement et la régularisation de taille de parties d'âges très différents.

Une autre loi, à laquelle Lacaze-Duthiers attachait beaucoup d'importance, est celle qu'il appelait « *la loi de destruction réciproque* ». D'après lui, lorsqu'une colonie d'Hydraires, de Bryozoaires, etc., arrive, pendant son développement, au contact d'une autre colonie d'Hydraires, de Spongiaires, de Bryozoaires..., la plus forte des deux, celle qui a la plus grande puissance blastogénique, recouvre l'autre. Mais cette dernière, à demi-étouffée et sur le point de périr, retrouve, dans ces conditions, une nouvelle vigueur. Son pouvoir blastogénique s'accroît, et il arrive généralement que la colonie, tout d'abord recouverte, recouvre à son tour l'autre affaiblie déjà par une trop active prolifération.

1. PRUVOT : *Lacaze-Duthiers* (Arch. de Zool. expér.).

Lacaze-Duthiers voyait, dans ce mécanisme de destruction réciproque, une loi qui complétait et corrigeait celle de la sélection naturelle.

BIBLIOGRAPHIE

PRUVOT : *Henri Lacaze-Duthiers*. Arch. de Zool. expérimentale : 3e série, tome X (1902), p. 1-46.

DELAGE : *Discours de M. Yves Delage prononcé sur la tombe de H. Lacaze-Duthiers* (*ibid*., p. 49-52).

HENRI LACAZE-DUTHIERS : *Direction des études zoologiques* (Programme-manifeste de la zoologie expérimentale, et discussion avec Claude Bernard (Arch. de Zool. expériment., vol. I, 1re série 1872, p. 1-64).

ID.: *A propos de la station des Chætoptères* (Souvenirs de l'accueil fait à divers savants allemands). Arch. Zool. expér., 1re série, vol. Ier (1872). Notes et Revues, p. XVII et suivantes.

ID. : *Développement des Coralliaires* (Arch. de Zool. expérimentale, 1re série, vol. Ier, p. 289-396, et vol. III).

ID. : Tous ses mémoires scientifiques sont publiés dans les Arch. de Zool. expérimentale, de 1872 (Série 1, vol. I) à 1903 (série 3, vol. XI) et dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences, ou dans les Mémoires de divers savants, publiés par l'Académie des Sciences (surtout entre 1852 et 1872).

CHAPITRE II

YVES DELAGE : SA THÉORIE DE L'HÉRÉDITÉ POLYZOISME DES ORGANISMES FÉCONDATION CHIMIQUE

Yves Delage, professeur de Zoologie à la Sorbonne, fut un élève de Lacaze-Duthiers. Sa carrière scientifique comprend deux périodes. Jusqu'en 1894 environ, son activité scientifique fut consacrée à peu près exclusivement à des travaux de Zoologie pure : Anatomie ou Embryologie descriptive des animaux. 1894 marque un changement de son orientation scientifique. Il publie, en effet, cette année-là, son célèbre ouvrage : l'*Hérédité et les grands problèmes de la Biologie générale*. A partir de 1900 environ, il se met lui-même à des recherches expérimentales de Biologie, et, dans les années suivantes, il obtient des succès remarquables dans ses tentatives de fécondation chimique. Il a réussi à obtenir le développement d'ovules non fécondés d'Oursins et d'Etoiles de Mer au moyen d'un traitement chimique. Ces tentatives avaient été inaugurées en Amérique par Jacques Lœb qui a, depuis, continué ses recherches par d'autres méthodes que celles employées par Delage.

Je ne mentionnerai que brièvement la période de zoologiste descripteur de la carrière de Delage. Lui-même a indiqué

plus tard l'insuffisance de ce genre de travaux à l'époque moderne. On peut citer de lui :

1° Ses recherches sur le système circulatoire des Crustacés décapodes ;

2° Son étude remarquable du développement ontogénique de la Sacculine. La Sacculine est un Cirripède qui vit en parasite sur le Crabe commun. A l'état adulte les caractères morphologiques de la Classe à laquelle l'animal appartient sont absolument méconnaissables. Elle présente l'aspect d'un sac presque informe, faisant saillie sous la queue du Crabe et envoyant à travers le corps de celui-ci d'innombrables racines. Quand on suit le développement de la Sacculine à partir de l'œuf, on voit qu'elle prend d'abord la forme d'une larve ayant tous les caractères des larves de Cirripèdes, ce qui permet de rattacher avec sûreté la Sacculine à ce groupe. Ce n'est que plus tard, par suite du parasitisme, que l'animal subit une déformation rendant l'adulte méconnaissable. M. Delage a suivi toute l'histoire du développement de la Sacculine et en a donné une description très fidèle et très complète.

3° Enfin, en 1892, Delage a fait paraître, dans les *Archives de Zoologie expérimentale*, un grand Mémoire sur l'Embryogénie des Eponges. Le sujet est extrêmement difficile, et requiert une grande habileté et une grande patience. Il est nécessaire de suivre presque heure par heure, durant des jours, le devenir de différents groupes de cellules de la larve, qui changent d'aspect, de situation relative et de fonction. L'œuf fécondé à l'intérieur même de l'Eponge donne naissance à une larve ciliée, qui nage librement dans le milieu (eau de mer ou eau douce). Suivant les espèces, cette larve a une forme ovoïde ou aplatie. Elle est recouverte en totalité, ou suivant certaines zones seulement, de cellules

ciliées. Au-dessous de celles-ci se trouve une couche de cellules épidermiques. Ce sont les deux catégories principales. Sans entrer dans les détails, disons seulement que, quand la larve cesse de nager et tombe sur le fond, les cellules ciliées subissent une transformation : elles perdent leur cil, subissent une réduction de taille, changent de forme, sont refoulées en profondeur, tandis que les cellules épidermiques viennent à la surface du corps, et forment l'épiderme de l'Eponge adulte. Après avoir subi une nouvelle transformation, les anciennes cellules ciliées deviennent les cellules à collerette qui tapissent les corbeilles de l'Eponge.

THÉORIES BIOLOGIQUES DE DELAGE. — Elles ont été exposées principalement dans son livre *l'Hérédité et les grands problèmes de la Biologie*. Ce livre est divisé en 4 parties. La première partie est intitulée : *Les faits*. Elle donne un résumé de toutes les connaissances importantes acquises en Biologie à l'époque où le livre a paru (1894).

La seconde partie porte comme titre : *Les théories*. On y trouve exposées toutes les théories biologiques générales ou spéciales de quelque importance, proposées pour expliquer l'origine des espèces, leur descendance, leur évolution, ou bien les théories de l'hérédité, de l'adaptation, de l'orthogénèse, etc. Les doctrines de Wilhelm Roux, Nœgeli, Weismann, Galton, Cunningham, Cope, Darwin, Lamarck, Spencer, Delbœuf, etc., sont passées en revue et critiquées.

Enfin la quatrième partie expose la théorie de l'Auteur lui-même. On la peut désigner sous le nom de *Théorie des causes actuelles*.

Jusqu'à Delage, presque tous les auteurs de théories biologiques tentaient d'expliquer la formation des êtres vivants, la genèse de leurs caractères morphologiques, la

source de leurs propriétés spécifiques, en les reportant sur des substances représentatives présentes dans l'œuf (pangènes et gemmules de Darwin ; déterminants de Weissmann). On faisait dériver tous les caractères de ces substances-germes, par développement. La cause étant là tout entière, les effets en résultaient, uniques et nécessaires.

Delage introduit une théorie beaucoup plus dynamique.

Il montre d'abord que la cellule est en perpétuelle formation, déformation, transformation. Parcourue constamment par des courants de diffusion entrants et sortants, qui ne cessent qu'avec la vie, formée de substances semi-liquides instables enveloppées de membranes semi-perméables qui entourent le cytoplasme, le noyau, les vacuoles, les leucytes et effectuent une série de triages successifs, la cellule, grâce surtout aux ferments solubles que la nutrition fait naître ou apporte en elle, est *en perpétuel devenir*. Et comme les cellules, issues de la division de l'œuf, occupent, relativement les unes aux autres et par rapport au milieu, des *situations différentes*, elles subissent des actions diverses. De là, des propriétés physiologiques variées, des caractères morphologiques différents, qui apparaissent, se *forment*, se défont, à mesure que l'embryon se développe ou change de mode de vie. Une larve nageuse symétrique et ciliée tombe au fond de la mer. Elle perd ses cils, ses appendices de natation, se fixe par un pied, prend une forme rayonnée. Elle acquiert un nouveau régime nutritif, ses organes digestifs changent ainsi que les sécrétions de leurs glandes.

Des cellules de constitution identique peuvent donc suivre une évolution tout différente suivant les conditions auxquelles elles se trouvent soumises. A la construction de l'être vivant, à sa différenciation ontogénique, c'est non seulement la constitution chimique de l'œuf qui concourt, ce sont

aussi les tropismes et les tactismes cytologiques qui entrent en jeu, l'excitation fonctionnelle qui trouve à s'exercer selon les circonstances, enfin la lutte des parties organiques. L'œuf ne contient pas d'avance tous les éléments de sa détermination ultérieure, représentés sous la forme de groupements moléculaires ou de particules représentatives. « L'ontogénèse, dit Delage, n'est pas seulement le développement, la séparation, l'accentuation des tendances évolutives, représentées au complet, sous une forme, matérielle ou autre, dans l'œuf fécondé. Elle comporte, en outre de cela, une formation progressive de parties, et de propriétés vraiment nouvelles, et la constitution initiale de l'œuf n'est qu'*une* des conditions indispensables de leur production. L'individu développé est le produit de nombreux facteurs, tous également indispensables et importants. La constitution du plasma germinatif n'est qu'un de ces facteurs. Les autres sont les tropismes, les tactismes, l'excitation fonctionnelle, l'action des ingesta et egesta de la nutrition, et les conditions ambiantes de tout ordre. »

Pour la plupart des Biologistes cherchant à expliquer la formation des caractères et propriétés spécifiques, les œufs engendrent les adultes par simple déclenchement de leurs forces évolutives. L'œuf, proteste Delage, *ne contient pas en lui tout son futur*. Un grand nombre des conditions de son avenir sont extérieures à lui. « Il est comme un astre lancé par une force initiale au milieu d'un système d'astres en mouvement. La trajectoire sera influencée et déterminée par tous les astres dont il traversera la sphère d'action, et cependant, si quelque chose eût été changé dans sa masse ou dans son mouvement initial, elle n'eût pas été ce qu'elle est. Elle n'est point dépendante de lui seul, quoique, en aucun point, elle ne soit indépendante de lui.

Il en est de même pour l'œuf. Il s'en faut de beaucoup, qu'il contienne en lui, déterminés à l'avance, tous les éléments de son évolution. Le plus grand nombre est en dehors de lui et il les rencontrera ou les fabriquera en route. »

Le mot Hérédité, tant usé par les Biologistes, est donc un mot fallacieux et vide de sens. C'est une entité à laquelle on attribue ce qu'il faudrait expliquer par une étude soigneuse et longue des mécanismes particuliers mis en jeu, mais aussi suscités et modelés peu à peu par les circonstances intervenantes.

Pour mieux faire comprendre sa pensée, Delage donne une image saisissante : Imaginons, dit-il, un torrent issu du glacier d'une haute montagne. L'eau de ce torrent, en descendant la pente, forme une cascade, puis fait plus loin tourner la roue d'un moulin, forme un tourbillon en se heurtant à des roches, plus loin encore elle s'étale en un lac, et finit par se jeter dans la mer en se partageant entre les nombreuses branches d'un delta. Imaginons que la masse d'eau en circulation soit toujours la même. Evaporée par la chaleur du soleil dans l'océan, elle forme des nuages flottant dans l'atmosphère, qui se condensent et retombent en pluie ou en neige au contact du sommet froid de la montagne. Là, la neige forme de nouveau des névés et un glacier, et le cycle de circulation recommence. Le Biologiste actuel, qui fait intervenir l'hérédité comme cause explicative, est semblable à un Physicien, ignorant l'action des causes actuelles qui engendrent les phénomènes. Ce physicien dirait : l'aptitude de l'eau à couler de haut en bas, sa propriété de se précipiter en cascade, de faire tourner la roue d'un moulin, de former un tourbillon, — propriétés qui se retrouvent dans les diverses portions de liquide qui se succèdent — est évidemment inhérente à la nature de l'eau du

torrent. Elle doit se trouver à l'état latent dans le nuage qui le forme, puisqu'il provient de ce nuage ; cette propriété n'a donc pu lui être transmise que par lui. Elle est héréditaire.

Tout caractère, toute propriété, ayant une base physique, on est conduit nécessairement à l'hypothèse qu'il y a, dans le nuage, des déterminants représentatifs du tourbillon, avec ses caractères spécifiques de forme, de vitesse, puisque ceux-ci se manifestent avec des caractères particuliers toujours les mêmes. L'ensemble de ces déterminants, ou le système de ces gemmules, constitue le plasma germinatif du nuage. Celui-ci le transmet à la neige, qui le passe à la glace et à l'eau. Et comme l'eau forme de nouveaux nuages, et de nouvelles masses d'eau courante, pourvues des mêmes propriétés, celles-ci sont nécessairement transmises par hérédité à celles-là.

Mais une partie du plasma germinatif se dépense dans la vie par la mise en jeu des propriétés de ses déterminants (en produisant par exemple un tourbillon) ; on devra donc admettre que ce plasma se double à un moment donné, et que l'une des parts est mise en réserve.

Naturellement toute cette interprétation est erronée. « Pourquoi notre physicien a-t-il été amené à imaginer toute cette complication inutile, demande Delage ? Parce qu'il a cru que tous les phénomènes du cycle étaient déterminés à l'avance dans l'eau, le nuage, la neige, la glace. Parce qu'il a négligé la considération des causes ambiantes, la pente du sol, les rochers du lit, la chaleur du soleil, la force du vent, le froid de la montagne... Ainsi fait le naturaliste qui croit que tous les phénomènes de l'évolution ontogénétique et tous les caractères héréditaires sont déterminés complètement dans l'œuf, et cherche sous quelle forme ils peuvent l'être, tandis que l'œuf ne contient en réalité qu'un

facteur essentiel de chacun d'eux. Ce facteur c'est la composition chimique et l'arrangement de ses parties. Mais avec la planète dont nous parlions tout à l'heure, il y a une différence capitale. Si on lance celle-ci une seconde fois, du même point, avec la même force, dans la même direction, quels que soient les changements de position relative qu'ait pu subir le système des autres planètes, au milieu desquelles elle se meut, elle décrira toujours une trajectoire normale et déterminée. Celle-ci pourra être absolument différente de la première, mais elle sera. Avec un être vivant il n'en est plus de même : les conditions dans lesquelles il peut évoluer à chaque instant sont très restreintes, très étroitement définies. Si les circonstances qui s'imposent à l'œuf ou à l'embryon s'écartent un peu des conditions nécessaires requises, il cesse d'évoluer : il meurt. L'œuf a une composition physico-chimique extraordinairement délicate et précise à laquelle on ne peut presque rien changer sans le détruire, et à laquelle il faut cependant sans cesse changer quelque chose sous peine de le voir mourir, car il n'est jamais en équilibre et ne peut attendre. Saisi par le flux des conditions ambiantes, « il est pris entre ces deux alternatives : rencontrer à chaque instant les conditions qui lui sont précisément nécessaires à ce moment, ou mourir. »

C'est là toute l'explication de l'*hérédité*, car ces conditions sont précisément celles qu'a rencontrées l'œuf parent à chaque stade correspondant. Il est donc inévitable qu'il suive la même évolution que l'œuf parent, puisqu'il a la même constitution physico-chimique que lui, et rencontre, dans le même ordre, une série de conditions identiques rigoureusement déterminées. Il n'est donc pas nécessaire qu'il contienne en lui tous les facteurs de son évolution. Il suffit qu'il contienne *un* des nombreux facteurs indispen-

sables à la reproduction identique de tous les phénomènes évolutifs. Les autres facteurs, non moins indispensables, sont situés en dehors de lui. Il est sûr de les rencontrer à temps, sans quoi il meurt. »

A l'être inorganique, au contraire, mille voies possibles *à priori* restent ouvertes : il suit celle où l'engagent les conditions extérieures. L'être vivant aussi pourra être poussé le long de mille voies diverses, mais toutes le conduisent à la mort, sauf une, celle qui était la seule voie de salut ouverte aussi à ses parents.

En résumé, Delage rejette l'Hérédité comme facteur intervenant et comme explication. Il n'y a pas, dans le germe, de caractères latents qui tendent à se manifester : « Les caractères latents, dit-il, sont des caractères absents. » Il n'y a que des causes actuelles, nées du conflit de substances et de circonstances présentes.

En ce qui concerne l'adaptation des êtres vivants aux conditions d'existence qui leur sont offertes, Delage distingue une adaptation phylogénique et une adaptation ontogénique. La première, la seule inexplicable, n'existe pas. La seconde, qui s'explique aisément par l'*excitation fonctionnelle* et les autres facteurs similaires, rend compte, à elle seule, de presque tout ce qu'il y a d'adapté dans les êtres organisés. Nous verrons dans un prochain chapitre la théorie extrêmement satisfaisante développée par M. Cuénot.

LE POLYZOÏSME DES ORGANISMES. — Il reste maintenant à indiquer l'attitude de Delage vis-à-vis d'une autre des grandes questions des Sciences naturelles contemporaines : la conception coloniale des Métazoaires.

Au cours du XIXe siècle on découvrit : 1° que tous les

tissus des organismes vivants étaient composés de cellules ; 2° que l'œuf était lui-même une cellule, qui, se multipliant par division, directe ou indirecte, un grand nombre de fois, donnait ainsi, pendant le développement ontogénique, les diverses parties du corps des Métazoaires et des Métaphytes ; 3° qu'il existait des êtres, formés d'une seule cellule, menant une vie libre et autonome, capables de se nourrir, de se mouvoir, de se reproduire : les Protozoaires et les Protophytes ; 4° que beaucoup d'animaux et de végétaux bourgeonnaient de nouvelles parties du corps, susceptibles, chez certains d'entre eux, de se détacher plus ou moins tardivement, et de mener une existence indépendante, à l'état d'individus semblables au premier. Chez d'autres, au contraire, les bourgeons formés, bien que devenant plus ou moins semblables à l'individu formateur, ne se détachaient pas.

Ces fait, rapprochés, conduisirent les Naturalistes à envisager les êtres pluricellulaires (Métazoaires et Métaphytes) comme représentant une collectivité d'êtres mono-cellulaires, ayant la valeur chacun d'un Protozoaire ou d'un Protophyte, mais qui, au lieu de se séparer les uns des autres après division, restaient associés. L'étude des diverses espèces animales et végétales fit reconnaître des degrés de complication divers dans les formations constituées par des associations de cellules. On distingua des unités de divers ordres : les *cellules*, les *mérides*, les *zoïdes*, les *dèmes*. Chaque unité d'un ordre était formée d'un certain nombre d'unités de l'ordre immédiatement inférieur, groupées d'après un certain plan : les mérides étaient formées de nombreuses cellules ; les zoïdes de plusieurs mérides distribuées suivant un plan spécifique ; les dèmes de zoïdes.

La théorie fut d'abord formulée pour les Cœlentérés :

les Polypes, le Corail, les Siphonophores ; pour les Ascidies composées ; puis pour les Vers annelés, qui bourgeonnent successivement les divers anneaux, presque rigoureusement semblables, de leur corps ; et pour les Crustacés. Enfin, elle fut étendue à tout le règne animal et végétal. Presque partout, en effet, on pouvait reconnaître des traces de métamérisation ou de bourgeonnement. Là où l'on n'en constate pas, on peut supposer qu'elles se sont effacées.

La doctrine du Polyzoïsme des êtres était, il y a peu d'années, à peu près universellement acceptée comme vraie par tous les Naturalistes. En 1896 Delage suscita un grand mouvement de discussion chez les savants, en contestant le bien fondé de la doctrine admise, dans un article célèbre ayant pour titre : « Le *Polyzoïsme des êtres.* »

D'après Delage, la question de savoir si les Métazoaires doivent être considérés comme des associations d'individus vivants d'ordre moins élevé ne comporte pas une réponse simple et uniforme. Il faut distinguer divers cas.

L'Hydre forme, en un point de sa tige, un petit bourgeon. Celui-ci, d'abord arrondi, développe bientôt des tentacules. On voit ainsi une seconde Hydre naître sur la première, semblable à celle-ci, et comme greffée sur elle. Au bout d'un certain temps, la nouvelle Hydre bourgeonnée se détache, et va mener plus loin une vie indépendante. Cependant, dans certains cas, les Hydres bourgeonnées ne se détachent pas. Elles forment, avec l'individu souche, une sorte d'arbre chevelu. Le nouvel être complexe, ainsi réalisé, est certainement une colonie d'Hydres.

Il en est de même des Hydraires marins, qui bourgeonnent comme les Hydres, mais dont les rameaux ne se détachent pas. Les Ascidies sociales ou composées, les *Botrylles* par exemple, rentrent encore dans la même catégorie, ainsi que

les Polypiers arborescents (Corail, Gorgone) dont chaque Polype, chaque petite fleur blanche, représente un zoïde. Le Polypier constitue un dème.

Mais, quand on passe aux Insectes ou aux Vertébrés, peut-on, sans être dupe d'une fausse analogie, les assimiler à un Polypier ou à un Siphonophore ? L'Insecte est-il une colonie de trois individus : la tête, le thorax, l'abdomen ? Pour qu'on ait le droit de répondre affirmativement, il faudrait qu'il existât : « soit des êtres qui seraient têtes seulement et qui bourgeonneraient d'autres individus homologues dont l'un deviendrait *thorax* et l'autre *abdomen* ; soit des êtres segmentés mais sans distinction de tête, thorax, abdomen, et qui, en bourgeonnant, donneraient naissance à deux autres individus, lesquels, situés à la suite du premier, se différencieraient ensuite en thorax et en abdomen, pendant que lui-même se transformerait en tête. »

La première hypothèse est évidemment insoutenable. La seconde, au contraire, présente une certaine vraisemblance. Il est fort possible que l'ancêtre des Insectes ait été un animal formé de segments similaires, sans distinction de tête, abdomen, thorax. Mais quand l'Insecte s'est constitué, ce sont les segments antérieurs qui se sont soudés pour former la tête, les segments moyens se fusionnant en thorax et les segments postérieurs s'unissant pour former l'abdomen.

Le thorax, la tête, l'abdomen, ne sont donc pas des individus groupés. Ce sont des formations secondaires, des concrescences d'anneaux. Les zoïdes correspondants n'ont jamais existé.

Mais ne pourrait-on soutenir, du moins, que les segments des Annelés ont la valeur d'individus distincts soudés les uns aux autres ?

Pas davantage. On s'accorde en effet à les faire dériver de Vers plats voisins des Planaires. Or les Planaires sont des organismes simples, non segmentés.

C'est principalement l'étude des Annélides Polychètes qui a amené les Naturalistes à accepter l'hypothèse des organismes-colonies.

Toutes les Annélides, en effet, proviennent d'une larve trochophore libre (fig. 1), qui bourgeonne, à sa partie posté-

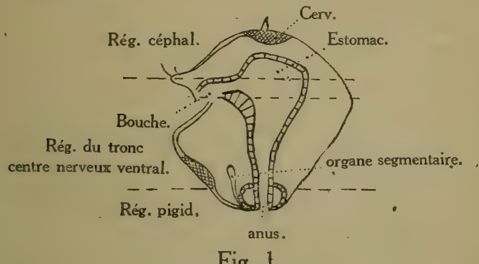


Fig. 1.

rieure, les autres segments constituant le corps de l'animal. Tous ces segments sont semblables : ils comprennent chacun une paire d'appendices locomoteurs, une paire de ganglions nerveux, des organes excréteurs, enfin un segment du tube digestif. On semble donc fondé à considérer une Annélide comme une chaîne d'organites — (les segments) — soudés les uns aux autres en série linéaire. Cette opinion semble même appuyée par le fait que, lorsqu'on sectionne le corps d'une Annélide ou d'un Lombric en 2 ou 3 tronçons, chacun d'eux, bien loin de mourir, continue en général à vivre et reconstitue ce qui lui manque : tête ou queue.

Or, selon Delage, l'interprétation précédente, fondée

sur une observation superficielle, n'est plus soutenable si l'on fait un examen approfondi de la larve Trochophore. Celle-ci en effet est un être complet, contenant, comme une Planaire, non séparés en segments, tous les éléments d'un corps entier de Métazoaire. Et ce corps n'est pas équivalent à un métamère d'Annélide. La Trochophore n'est pas, en effet, le premier segment du corps, bourgeonnant les autres derrière lui, ou même un système concrescent des premiers anneaux.

Elle renferme des organes qui seront répartis dans toutes les régions du corps de l'Annélide adulte.

« Elle contient en effet non seulement la tête de la future Annélide, mais aussi sa bouche et son premier organe segmentaire qui appartient au tronc de celle-ci, et enfin l'anus, le même anus qui chez l'adulte sera à l'extrémité terminale du corps. Il y a donc, dans la Trochophore, avant toute segmentation, au moins trois parties qui ne sont point les représentants l'un de l'autre : *la tête* (rég. céph.) dépourvue de tube digestif, pourvue de centres nerveux *dorsaux* (cerv.) ; *le tronc* (Rég. du tronc) contenant la bouche, la presque totalité du tube digestif et un centre nerveux *ventral* ; le *pygidium* (Rég. pygidiale) portant l'anus, dépourvu de pied, et formateur du rudiment total des futurs organes génitaux et segmentaires, qui ne s'étendront au tronc que secondairement. Dans l'animal ainsi constitué la segmentation du corps se fait uniquement *aux dépens de la partie moyenne* ou TRONC entre deux parties séparées d'abord (tête et pygidium) dans la partie du tronc qui confine au pygidium. »

Ainsi toutes les parties de la larve Trochophore contribuent à former différentes régions du corps de l'adulte et les anneaux ne proviennent que d'une division en segments de la partie moyenne du corps de la larve.

En résumé : « le polyzoïsme, la constitution de formes supérieures par des colonies de formes inférieures, est le fait réel, mais très limité et d'importance fort secondaire. Mais il n'y a de vraies colonies parmi les Métazoaires que celles dont les Tuniciers et les Cœlentérés à Polypes multiples nous montrent des exemples évidents. Mais chez tous les êtres formés de métamères ou d'antimères, la similitude des portions successives disposées autour ou le long de l'axe du corps, est un *trait d'organisation déterminé par des influences biomécaniques* et non un fait de polyzoïsme. Tous ces êtres sont *simples*, et constituent, en dépit de leur aspect, des *personnes indécomposables, des individualités parfaites*.

La structure cellulaire elle-même n'est pas nécessairement un fait de polyzoïsme. Il peut y avoir des êtres qui soient des colonies de cellules ; mais, en général, on a le droit de penser que l'être polycellulaire ne dérive pas d'une colonie de cellules, qu'il constitue une individualité homologue à la cellule, ayant multiplié ses noyaux, comme font certaines cellules, pour satisfaire aux nécessités de son accroissement, pour faciliter ses différenciations locales, et, ayant *secondairement* établi entre les masses protoplasmiques, centrées par ses noyaux, des cloisons qui l'ont décomposé en cellules. »

Je vais indiquer brièvement, maintenant, les expériences biologiques auxquelles Delage a consacré son activité depuis une vingtaine d'années.

Expériences de mérotomie de l'œuf. — Les célèbres expériences de Delage sur la parthénogénèse artificielle des œufs d'Echinodermes avaient été précédées par des expériences de mérotomie, faites par lui sur des œufs d'Oursins. Pour préciser le rôle du noyau et des chromosomes des

éléments reproducteurs, mâle et femelle, Delage sectionna, sous le microscope, à l'aide d'une aiguille coupante, un certain nombre d'ovules vierges d'Oursin. Un des segments contenait le noyau. L'autre partie, aussi grosse que possible, ne renfermait que du protoplasma. Cette dernière partie, anucléée, était isolée ensuite et mise en contact avec des spermatozoïdes de la même espèce. L'un de ceux-ci pénétrait bientôt dans la masse ovuline sans noyau. On observait, peu après, une segmentation aboutissant à la formation d'une larve Pluteus.

Ces expériences montrent :

1° que le noyau de l'ovule n'est pas nécessaire au développement de la larve Pluteus.

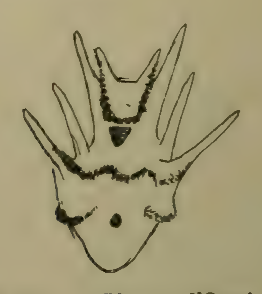


Fig. 2. — Pluteus d'Oursin.

2° que les noyaux des cellules de la larve Pluteus ainsi obtenue doivent renfermer seulement n chromosomes au lieu de $2n$ normalement.

Les métamorphoses embryonnaires ultérieures n'ont pas eu lieu. Ceci ne signifie pas qu'elles ne pourraient pas se

produire si l'on réalisait certaines conditions nécessaires encore inconnues.

FÉCONDATION CHIMIQUE DES ŒUFS D'ECHINODERMES. — 1° *Expériences sur les Etoiles de Mer.* — Ce sont les premières tentatives de cette série qui aient été couronnées de succès. Le processus opératoire est très simple. On plonge les œufs vierges d'Etoile de Mer dans de l'eau de mer saturée d'acide carbonique, ou mieux encore, on projette sur eux le liquide d'un siphon d'eau de seltz préparé avec de l'eau de mer. On les laisse une heure ou une heure et demie dans ce liquide. Puis on les porte dans l'eau de mer ordinaire. Ils se segmentent et le développement se poursuit jusqu'au

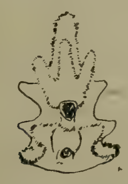


Fig. 3. — Bipinnaria d'Etoile de mer.

stade larvaire *Bipinnaria.* Delage a même obtenu dans quelques cas très rares de très petites Astéries.

2° *Expériences avec les Oursins.* — Le traitement est plus compliqué. On prend des œufs non fécondés de *Paracentrotus lividus* ayant expulsé leurs globules polaires. On les met dans un petit cristallisoir contenant un liquide constitué ainsi : 300 centimètres cubes d'eau de mer, 700 centim. cubes d'eau sucrée « isotonique à l'eau de mer ». On ajoute au mélange précédent 15 centigrammes de tannin (pour

un litre) et 3 centimètres cubes d'une solution normale d'ammoniaque. On laisse les œufs d'Oursin une heure dans ce liquide. On les replace ensuite dans l'eau de mer, que l'on change plusieurs fois de façon à enlever toute trace du réactif. Dès le lendemain la plupart des œufs commencent à se diviser. Ils évoluent, deviennent des larves *Pluteus*. Delage a même obtenu exceptionnellement de petits Oursins.

Selon Delage, l'œuf « est composé de colloïdes très divers dont les uns sont toujours dissous, les autres toujours coagulés, mais dont certains autres sont dans un état d'équilibre instable, caractéristique de la matière vivante ». Il leur faut peu de chose soit pour se coaguler, soit pour se liquéfier. La segmentation de l'œuf, d'après Delage, consiste essentiellement en une série définie de coagulations et de liquéfactions, de certains colloïdes protoplasmiques de la cellule. Entre autres, la formation de la membrane vitelline, celle des asters et des fuseaux de la karyokinèse sont des coagulations ; la disparition de la membrane nucléaire est une liquéfaction. Si donc on savait appliquer, en chaque point au moment voulu, le réactif qui déterminerait la coagulation ou la liquéfaction, qui a lieu dans les conditions normales, on obtiendrait, avec certitude, la suite des stades du développement embryonnaire. Eh bien, heureusement, il n'est pas nécessaire de faire, une à une, toutes ces opérations. Il suffit de faire la première, ou les deux premières. Une fois le phénomène déclenché, il se poursuit ensuite tout seul. Il s'agit donc seulement de produire, à l'aide de réactifs chimiques convenables, d'abord la coagulation qui produit la membrane et l'aster, puis la liquéfaction qui détruit la membrane nucléaire. Delage obtient la coagulation à l'aide des acides, ou par le tannin, qui joue le même rôle de coagu-

lant, et la liquéfaction par un alcalin : l'ammoniaque. Il a constaté qu'on pouvait introduire les 2 substances en même temps, sous la forme de tannate d'ammoniaque. Sans doute l'ammoniaque agit-il plus lentement que le tannin. Son action se ferait sentir alors après celle de cette substance coagulante.

BIBLIOGRAPHIE

Yves Delage : *L'Hérédité, le Protoplasma et les grands problèmes de la Biologie.* (Paris, Schleicher.)

Id. : *Traité de Zoologie concrète.* (9 vol., Paris, Schleicher.)

Id. : *Archives de Zoologie expérimentale* : de 1902 à 1914 : nombreux mémoires sur la fécondation artificielle.

Id. : *La conception Polyzoïque des êtres. (Revue scientifique,* 1896)

Delage et Goldsmith : *La Parthénogénèse expérimentale* (Bibl. de Philo. scientif. contempor. Paris, Flammarion.)



CHAPITRE III

LA FÉCONDATION ARTIFICIELLE DES BATRACIENS : E. BATAILLON

E. Bataillon, professeur de Biologie à l'Université de Strasbourg a, depuis 1909 environ, exécuté une série d'expériences du plus grand intérêt sur la Parthénogénèse artificielle des œufs de Batraciens (Grenouilles, Crapauds, Tritons...)

Les premières découvertes. — La méthode employée est excessivement simple et a donné les meilleurs résultats jusqu'ici obtenus. Elle fournit donc des données de la plus haute valeur pour les théories explicatives du mécanisme du développement embryonnaire.

Pour *activer* les œufs de grenouille, c'est-à-dire pour déclencher le phénomène de la segmentation, Bataillon pique simplement, ou perce, les œufs non fécondés. Pour ne pas détruire la structure microscopique, la piqûre doit être extrêmement fine ; pour la faire ainsi, Bataillon effectue l'opération avec des aiguilles de verre. Ces aiguilles sont faites en étirant du verre chauffé à blanc en fils presque invisibles, d'après la méthode employée depuis longtemps par le physicien anglais Boys.

Plus récemment, Bataillon a aussi employé les chocs d'induction électrique pour « activer » les œufs, et cette méthode a donné également de très bons résultats.

Il est intéressant de remarquer comment Bataillon a été conduit à élaborer cette méthode. Ses expériences n'ont pas été faites au hasard. Il en avait auparavant réalisé d'autres dans lesquelles il avait effectué l'imprégnation de l'œuf d'un crapaud, *Bufo calamita*, avec le sperme d'un Triton, *Triton alpestris*, qui est une espèce tout à fait différente. Au cours de ces expériences, il avait observé qu'à un stage où les « têtes » des spermatozoïdes avaient seulement percé la membrane vitelline, et avant qu'aucune fusion des noyaux ait eu lieu, le processus de segmentation avait déjà commencé. Ainsi, le traumatisme mécanique, suivi par la contraction de l'œuf et par l'émission de certains liquides, semblait être un stimulus suffisant pour modifier l'équilibre chimique de l'œuf. De cette conclusion surgit l'idée de faire une piqûre pour induire le développement.

Considérons un instant les détails de la technique de Bataillon. Une femelle de *Rana fusca* (Grenouille) ayant été isolée depuis l'année précédente, des ovules non fécondés sont extraits de son utérus et étalés sur le fond plat d'un vase de verre. On peut les voir, tournant à la façon ordinaire, leur pôle animal vers le haut, dans l'espace de 45 minutes, comme cela a lieu avec les œufs fécondés. Après 4 heures, à 15° C., la segmentation commence et elle se poursuit aussi rapidement dans le cas des œufs opérés que dans celui des œufs fécondés. Quelques-uns des premiers présentent une segmentation normale. « Dès le début, des sillons s'étendent au pôle vitellin, et les belles morulas que l'on peut observer après le premier jour ne sont surpassées en perfection par aucune de celles qui résultent de la féconda-

tion ». Beaucoup des œufs restants montrent une division plus ou moins irrégulière : quelques-uns se divisent tout de suite en 3 ou 4 ; d'autres subissent une sorte d'émiettement abortif tardif et, « après 6 ou 7 heures, les 3/4 des œufs se sont segmentés et sont en mouvement ». — « L'arrêt de développement peut s'observer à n'importe quel stage. La gastrulation souvent se produit dans 1/10 des œufs environ, mais beaucoup ne sont pas capables de dépasser le stage du bouchon d'Ecker, tandis que d'autres dégénèrent au stade de la formation des « plis ».

Au cours de 9 séries d'expériences, Bataillon ne réussit à obtenir qu'environ 1 à 2 % de larves à éclosion normale. Plus tard, il découvrit qu'on pouvait provoquer l'activation des œufs non fécondés au moyen de chocs électriques d'induction au lieu de piqûres. A cet effet, les œufs étaient posés sur une lame de clinquant reliée à l'une des bornes d'une bobine d'induction ; un fil de cuivre, attaché à l'autre borne, était relié à une aiguille : cette aiguille était amenée soit à la surface, soit à une certaine distance de chaque œuf, pendant qu'un assistant produisait les interruptions de courant dans la bobine primaire. On appliquait, soit des chocs d'induction, soit des étincelles d'un centimètre de long. On peut aussi soumettre les œufs, en blocs de 2 centim. cubes, à des séries de chocs d'induction d'intensités variées. Les œufs sont ensuite replacés dans l'eau, où ils s'orientent ; un clivage plus ou moins marqué se produit, mais la gastrulation n'apparaît jamais.

Bataillon fit aussi des piqûres avec le thermo-cautère. Dans les premières années de ses expériences (1909-1910), il avait cru qu'une piqûre suffisait pour amener tout le développement de l'embryon jusqu'à la larve. Mais à mesure qu'il continuait, l'idée s'imposa de plus en plus à lui que,

dans la parthénogénèse, il y avait quelque chose de plus qu'une pure réaction à un traumatisme. Plus la technique devenait parfaite, plus il devenait évident que, par une simple piqûre des œufs, on ne pouvait obtenir qu'une segmentation abortive. A partir de 1911, Bataillon fut amené à modifier son opinion première et à reconnaître que le phénomène était, en réalité, plus complexe qu'il ne l'avait cru tout d'abord. Le développement complet de l'œuf non fécondé est le résultat d'une double action *non spécifique*, causée par deux facteurs indépendants :

(1) « L'activation » de l'œuf due à la piqûre. Il déclenche le phénomène et aboutit à une parthénogénèse abortive. Le système chromatique du pronucleus femelle, activé par la piqûre, est bien « harmonique », au sens donné à ce mot par Hertwig ; mais il est *déficient*. Il ne peut pas avoir pour résultat le développement de la larve.

(2) L'action (également non spécifique) d'une substance accélératrice : (le corpuscule sanguin nucléé d'un Batracien, ou le leucocyte d'un Mammifère... etc.) Servant de complément à la première, cette action conduit au développement parthénogénétique total : à la formation de la larve et de l'adulte.

Voici quelques expériences concluantes de Bataillon à ce sujet. Un millier d'œufs vierges, qui viennent d'être pondus par une grenouille tenue dans l'isolement, sont rassemblés et 500 d'entre eux sont simplement piqués [1]. « Ils montrent seulement l'activation et une parthénogénèse abortive. Il n'y a pas un seul clivage parmi ceux constituant

1. Ces œufs sont obtenus, non plus par incision de l'utérus, mais par la voie naturelle (au moyen de compressions rythmées de l'abdomen, comme on les pratique dans la ponte artificielle des Poissons).

l'autre lot ». D'autre part, 300 œufs de la même ponte sont humectés avec du sang de grenouille, puis piqués. Après 48 heures, plus de 30 « bouchons d'Ecker » se sont développés.

Plus récemment (1912) Bataillon a adopté une technique beaucoup plus parfaite qu'il affirme infaillible. Il commence par débarrasser les œufs de la substance gélatineuse qui les enveloppe. Dans cette intention, il les place dans une solution de cyanure de potassium à 8,8 pour 1.000, en les agitant pour empêcher qu'ils ne se collent. Après 3 h. 1/2 ou 4 heures, le revêtement gélatineux est dissous. Pour achever le processus, les œufs sont lavés plusieurs fois dans une solution de chlorure de sodium à 7 pour 1.000, pendant une heure. On obtient de la sorte ce que Bataillon appelle « des œufs nus » ou « des œufs au cyanure ». Ces œufs peuvent être maintenus 24 heures dans la même solution. Ils ne laissent pas pénétrer le sperme. « Nous pouvons piquer des milliers de ces œufs, dit Bataillon, « sans obtenir une seule division normale ; mais, si nous versons sur un certain nombre d'entre eux de l'extrait frais de la rate d'un Cobaye (un réactif idéal), nous obtiendrons, après les avoir piqués, une certaine proportion (souvent plus des deux tiers) d'admirables segmentations. »

La méthode de Bataillon consiste à recueillir à l'abattoir du sang de cheval qui, après avoir été défibriné, se sépare en trois couches : les globules rouges ; les leucocytes ou globules blancs et le sérum. Il traite alors les œufs de trois manières différentes :

1° Les œufs sont placés dans le sérum et piqués tandis qu'ils sont encore dans le liquide.

2° Ils sont plongés dans la purée de leucocytes et sont ensuite piqués.

3° Ils sont mis dans le magma de globules rouges et piqués pendant qu'ils sont dans cette purée.

Voici la propre description, par Bataillon, des résultats obtenus : « Le sérum ne fournit rien après piqûre. La purée de globules rouges (qui n'est pas complètement dépourvue de leucocytes donne 1 °/o de divisions normales au plus. La purée de leucocytes en fournit 75 °/o. J'en conclus que l'agent actif dans mes expériences avec le sang de mammifères est l'élément nucléé, c'est-à-dire le leucocyte ».

Pour être efficace, un globule nucléé doit être encore capable de mouvement, de sorte que le pus humain (dont les corpuscules sont inertes), est sans effet dans les expériences. De même, les leucocytes de cheval, chauffés pendant une heure à 46° cent., perdent leur « pouvoir accélérateur » et, à ce propos, 300 œufs nus de grenouille, traités avec des leucocytes de cheval chauffés pendant 1 heure, n'ont abouti qu'à une division abortive après piqûre.

« Ainsi, conclut Bataillon, un certain degré d'intégrité de l'élément inoculé (leucocytes ou corpuscules rouges de Batraciens) semble être indispensable. En ce qui concerne la nature précise de ces conditions, mes expériences avec le sang de cheval confirment mes observations microscopiques antérieures et renforcent ma conviction que c'est réellement une affaire de noyau ou de fragment de noyau ». — « En résumé, la méthode au cyanure avec les œufs de grenouille démontre de façon certaine l'existence d'un second facteur dans la parthénogénèse, et je considère la question de l'inoculation comme définitivement réglée. Quand j'emploie le sang de mammifère, c'est le leucocyte qui agit et tout se combine pour me faire croire que c'est par son noyau qu'il agit. Les expériences d'Hertwig donnent un appui indirect

à la conclusion à laquelle je suis arrivé ; mais je ne peux pas croire que la part jouée par le spermatozoïde qui a été soumis à l'action des rayons du radium [1] est limitée à l'activation. L'appareil chromatique femelle peut être mis en mouvement de différentes façons, mais jusqu'à présent (toutes les fusions « désharmoniques » mises à part), il ne dirige pas la formation de l'embryon si ce n'est par l'influence accélératrice et régulatrice de quelque élément vivant : simple contingent non-spécifique sur le rôle duquel la cytologie seule peut jeter quelque lumière.

En 1914, Bataillon réussit à inoculer des « œufs nus » de *Rana fusca* avec du sang et avec différentes pulpes ou extraits d'organes d'Invertébrés. En humectant ces œufs, avant de les piquer, soit avec le liquide des vésicules séminales de Vers de terre (*Lumbricus*), soit avec de la pulpe de la glande hermaphrodite de l'Escargot (*Helix*), il obtint le développement de larves. Ainsi, le second facteur non-spécifique, le matériel accélérateur peut être fourni par des Mollusques ou par des Vers aussi bien que par des Vertébrés. Jusqu'à présent, le matériel emprunté aux animaux à chitine (Ecrevisses, Dytiques, Ascaris) n'a pas produit les mêmes résultats. Plus récemment encore (1914), Bataillon a découvert l'intéressant phénomène suivant. Quand des œufs nus, vierges, sont placés dans une solution du suc hépato-pancréatique d'un Invertébré (par exemple d'une Ecrevisse), ou dans du sang contenant cette substance, ils se gonflent et sont détruits en moins de deux minutes. Mais, si les œufs nus soumis à l'influence du liquide hépato-pancréatique ont

1. Dans les expériences d'Oscar et Gunther Hertwig, les spermatozoïdes de *Rana fusca* sont soumises à l'action des rayons β et γ émis par le radium. Le spermatozoïde reste mobile et pénètre dans l'œuf, mais sa chromatine (profondément altérée quand l'exposition au radium a été longue), est incapable de produire l'amphimixie.

été auparavant, soit fécondés, soit simplement *activés*, ils résistent à l'action destructive.

Cette épreuve fournit un bon critérium pour s'assurer, avant toute segmentation commencée, si un œuf de Batracien a été ou non fécondé ou activé.

Le compte rendu suivant d'une expérience montre comment cette preuve peut être fournie : un lot d'œufs de *Rana fusca* est fécondé avec du liquide spermatique très dilué et, après quinze minutes, les œufs sont placés dans du cyanure à 8 pour 1.000 pendant 3 heures. Les enveloppes gélatineuses étant alors dissoutes, les œufs sont lavés et soumis à l'action du suc hépato-pancréatique. Dans chaque lot, un certain nombre, environ un tiers du total, se gonflent et s'aplatissent, puis, leurs membranes éclatent et ils finissent par se dissoudre. Les autres œufs (deux tiers) restent turgescents et *tous* subissent la division. Ce sont les œufs fécondés. Il faut remarquer que dans les lots témoins, non soumis à l'action du suc hépato-pancréatique, les œufs se développent dans la même proportion de deux tiers. Si, au lieu d'être fécondés, les œufs vierges sont simplement activés en étant soumis à des chocs électriques d'induction, puis ensuite traités au cyanure, ils résistent à l'action destructive du liquide hépato-pancréatique aussi bien que les œufs fécondés. Ils sont capables de supporter l'action de ce liquide pendant quinze heures, demeurant intacts et « turgides », tandis que les œufs vierges sont dissous en deux minutes.

Mais le changement de condition de l'œuf, rendu apparent par le changement de ses propriétés, n'est pas instantané. Un certain temps est nécessaire pour que le changement s'effectue. La longueur de cet intervalle de temps dépend des circonstances. Par exemple, dans une des expériences

de Bataillon, des œufs soumis à l'influence du suc hépato-pancréatique, après avoir reçu des chocs d'induction, étaient encore tous dissous si on les plaçait dans la solution cytolysante *dans les deux minutes* qui suivaient leur activation électrique. 20 minutes après leur activation électrique, 50 % étaient déjà capables de résister ; 40 minutes après elle, 90 % ; 75 minutes après l'activation électrique, 100 %.

Dans le cas d'activation par piqûre, 90 minutes sont nécessaires pour acquérir l'immunité, et celle-ci se produit soudainement. Le retard semble dépendre des dimensions de l'œuf. Avec des œufs de *Rana fusca* activés par des chocs électriques immédiatement après leur retrait du cyanure, une période minima de 30 minutes est nécessaire pour qu'ils soient tous immunisés. Dans les mêmes conditions, l'intervalle minimum est de 20 minutes pour les œufs de *Bufo vulgaris*, et de 10 minutes pour les œufs de *Bufo calamita*. L'existence de cette période latente dans le changement de propriétés de l'œuf a une grande signification biologique. Bataillon est d'avis que la réaction qui suit l'activation « ré-établit la structure plasmatique alvéolaire qui fixe les localisations germinales ».

NOUVELLES RECHERCHES DE E. BATAILLON

I. Résistivité électrique de l'œuf activé ou fécondé, comparée a celle de l'œuf non fécondé. — Bataillon a mesuré la résistance (électrique) de l'œuf, soit immédiatement après « l'activation » par des chocs d'induction, soit immédiatement après la fécondation par le spermatozoïde normal. Dans les deux cas il a observé : tout d'abord une

chute brusque de la résistivité de l'œuf (accroissement de conductivité), suivie, bientôt après, d'une augmentation progressive de la résistivité (diminution de la conductivité). « Les variations de conductivité, dit Bataillon, paraissent identiques pour l'activation simple et pour la fécondation ». « La seule activation provoque, après une chute rapide, un relèvement de la courbe de résistance. Ce relèvement correspond au mouvement des fluides qui rend l'œuf réfractaire à certains principes cytolysants. Il traduit la restauration dans l'œuf de la structure alvéolaire d'activité ».

II. Les trois stades de la fécondation. — Résumant les résultats de ses observations et de ses expériences antérieures, Bataillon distingue trois stades différents dans la fécondation :

1° L'activation.

2° La régulation-accélération.

3° L'amphimixie.

1° *Activation.* — L'activation est un processus interne traduit par une série de phénomènes qui se suivent toujours dans le même ordre : orientation de l'œuf avec le pôle pigmenté tourné vers le haut ; formation du second globule polaire ; retour du pro-nucléus à une position centrale ; contraction de l'œuf ; élimination de fluides accompagnée de pénétration osmotique d'eau ; enfin apparition du *croissant gris* qui délimite la partie antérieure de la tête. « La réaction, avec sa forme définie, l'équilibre plasmatique nouveau avec son croissant, ne peuvent être réduits actuellement par les seules propriétés de l'agent extérieur mis en cause. Cette réaction est spécifique ; elle est dirigée par le complexus spécifique de l'œuf vierge. Voilà une barrière à laquelle se heurte notre effort analytique actuel. »

2° *Régulation-accélération.* — La substance nucléaire empruntée à une cellule d'espèce quelconque (par exemple au leucocyte du cheval) joue le rôle à la fois de diastase régulatrice dirigeant l'ordre des cinèses ultérieures, et d'accélérateur de la réaction. Bataillon interprète ceci comme un processus de caryo-catalyse : « Le travail *régulateur* corrige un déficit qui semble porter sur certains principes nucléaires, facteurs du « gel » hyaloplasmique, de l'épuration et du clivage ».

3° *Amphimixie.* — L'Amphimixie « est un processus surajouté, non indispensable à la construction de la forme spécifique ; il ne concerne essentiellement que le mélange des caractéristiques individuelles. »

III. Conditions nécessaires pour que la fécondation soit possible. — Avant d'aller plus loin, il faut attirer l'attention sur deux faits importants :

1° Les œufs nus, c'est-à-dire les œufs dépouillés de leur enveloppe gélatineuse, sont incapables de fécondation. Pour qu'un œuf soit susceptible d'être fécondé, il est nécessaire qu'il soit pourvu de son enveloppe gélatineuse, car celle-ci est indispensable à la pénétration du spermatozoïde dans l'œuf.

2° Une fois que l'œuf a été *activé* et qu'il a manifesté les premiers signes d'activation, il ne peut plus être fécondé par un spermatozoïde.

IV. La formation de la membrane de l'œuf et l'action des sels neutres sur cette structure. — Le déclenchement de l'activité interne entraîne la formation, ou plutôt la consolidation de la membrane de l'œuf ou membrane de fécondation. Beaucoup de biologistes ont considéré la for-

mation de cette membrane comme un phénomène capital causant et commandant toute la série des transformations qui se produisent pendant la segmentation. Bataillon a montré au contraire qu'elle n'est qu'un phénomène accessoire, puisqu'il est possible de provoquer le développement de l'œuf tout en empêchant la formation de la membrane.

La formation de la membrane est empêchée, si l'on plonge les œufs nus, activés électriquement, dans une solution à 7 pour 1.000 de chlorure de sodium. D'autres solutions de sels neutres : chlorure de calcium, chlorure de potassium, sulfate de sodium... donnent les mêmes résultats. Les œufs cependant se segmentent, mais la turgescence fait défaut. Les œufs vierges nus maintenus dans une solution de chlorure de sodium peuvent être *activés* plus tard, mais la consolidation de la membrane est *retardée*. Après 24 heures de séjour des œufs dans la solution, la consolidation de la membrane n'est parfaitement achevée qu'une heure et demie après l'activation, au lieu de l'être après 30 minutes.

Les changements subis par la membrane après sa consolidation paraissent irréversibles, au moins pendant deux jours : reportés dans la solution saline la membrane conserve sa résistance.

Les œufs sans membrane, même s'ils sont activés ou segmentés, sont rapidement dissous par le suc hépato-pancréatique, tandis que ceux dont la membrane est consolidée ne le sont pas. C'est donc la membrane consolidée qui empêche l'action digestive du suc hépato-pancréatique [1].

On peut empêcher de même la formation ou plutôt la consolidation de la membrane non seulement d'œufs activés, mais encore d'œufs « inoculés » avec du sang ou de la

1. Il y a certains ions de sels neutres dont les effets sont semblables : K et Na par exemple ou Ca et Mg. Au contraire les ions Ca et Mg. sont antagonistes des ions Na.

lymphe, ou d'œufs fécondés normalement (puis débarrassés de leur gangue) par l'action de solutions de sels neutres.

HYPOTHÈSE DE BATAILLON SUR LE PROCESSUS MEMBRANOGÈNE CHEZ LES BATRACIENS. — Bataillon remarque que les globulines (en particulier les vitellines) sont solubles dans les solutions neutres de sels alcalino-terreux faiblement concentrées, et qu'elles sont précipitées de leur solution par dilution. « Si donc, dit-il, les fluides rejetés par l'œuf activé contiennent une globuline (ou une vitelline), celle-ci, au contact de l'eau, précipitera ; et le dépôt, se faisant sur la membrane ou dans son épaisseur, changera ses propriétés. Ce qui me porte à penser que la modification s'étend à l'épaisseur de la paroi, c'est que — indépendamment du gonflement de l'œuf vierge et de la distension de sa membrane — le suc hépato-pancréatique attaque et délite cette dernière. La membrane de l'œuf activé montre toujours ses deux limites intactes dans le réactif. La globuline que je suppose rejetée étant soluble dans les sels que j'emploie, ces derniers s'opposent à la consolidation, bien que la réaction épuratrice se fasse et que l'œuf expulse son deuxième globule polaire et se segmente. »

V. POLYSPERMIE. EFFET DES SELS SUR LA POLYSPERMIE. ANALYSE DE LA FÉCONDATION AU MOYEN DE LA POLYSPERMIE. — La polyspermie consiste dans la pénétration de plusieurs spermatozoïdes dans le même œuf. Dans le cas de la fécondation normale, un seul spermatozoïde réussit à entrer dans l'œuf. Aussitôt qu'un gamète mâle a pénétré dans l'œuf, celui-ci, généralement, devient réfractaire à l'introduction d'un autre élément mâle et s'enveloppe d'une membrane épaisse. Chez les Batraciens, la monospermie est la règle,

tandis que la polyspermie est une exception qui révèle un état anormal ou un arrêt du développement.

Bataillon s'est servi du phénomène de la polyspermie pour instituer une analyse très pénétrante du développement de l'œuf ; elle l'a conduit à distinguer plusieurs stades. Pour ces recherches il a mis à profit l'action des sels sur les œufs.

L'état d'un œuf activé ou fécondé n'est plus le même quand on le plonge dans une solution à 2,5 pour 1.000 de chlorure de sodium. Cette solution, et d'autres encore, facilite la polyspermie. L'influence d'une solution saline dépend à la fois de la *nature de ses ions* et de sa *concentration*. Dans des solutions plus concentrées (par exemple à 3,5 pour 1.000) la fécondation polyspermique devient impossible mais elle peut avoir lieu si l'on ajoute de l'eau. Il y a un optimum de concentration qui est de 2,5 pour 1.000 environ. Les concentrations efficaces demeurent comprises entre des limites rapprochées : en dehors d'elles, il y a, d'un côté, monospermie, de l'autre, incapacité de fécondation. C'est l'état de l'œuf qui règle la polyspermie.

Afin de démontrer ces divers faits, Bataillon a exécuté un certain nombre d'expériences. Parmi elles les trois suivantes sont particulièrement concluantes :

1° Dans des solutions de chlorure de sodium à 7, 6, 5 et 4 pour 1.000, qui contiennent des spermatozoïdes, on introduit des œufs vierges (pourvus de leurs enveloppes gélatineuses). Jamais il n'arrive qu'un seul œuf soit fécondé, car la pénétration des spermatozoïdes est empêchée. Mais si l'on ajoute une grande quantité d'eau de façon à diluer la solution, la fécondation peut avoir lieu.

2° Des œufs sont rapidement fécondés dans de l'eau pure contenant des spermatozoïdes. Après *deux minutes* de

contact on les enlève et on les met dans une solution de chlorure de sodium à 7 p. 1.000. Un certain nombre d'entre eux se divisent comme d'habitude après trois heures et demie. Tous les œufs sont alors reportés dans l'eau pure. Après un nouveau délai de trois heures et demie, beaucoup d'œufs restés jusque là indivisés entreront simultanément en segmentation. La pénétration des spermatozoïdes, qui ne s'était pas produite pendant les deux premières minutes, avait été empêchée ensuite par l'action du sel.

3° On prépare un mélange fortement concentré de sperme et d'eau ordinaire. On se sert ensuite de ce mélange pour obtenir les cinq solutions suivantes, qui ont des concentrations différentes :

	SPERMES SALÉS	CONCENTRATION DU SEL pour 1000
1	1 partie du mélange de sperme et 1 partie de sol. de Na Cl 7 p. 1000.	3,5
2	2 parties du mélange de sperme et 1 partie de sol. de Na Cl 7 p. 1000.	2,33
3	3 parties du mélange de sperme et 1 partie de sol. de Na Cl 7 p. 1000.	1.75
4	4 parties du mélange de sperme et 1 partie de sol. de Na Cl 7 p. 1000.	1,4
5	6 parties du mélange de sperme et 1 partie de sol. de Na Cl 7 p. 1000.	1,0

Chaque mélange est employé à féconder un lot de 200 œufs utérins. « Le premier mélange (3,5 p. 1.000 de chlorure de sodium) ne provoque pas trace d'orientation ni de

segmentation ; la fécondation est suspendue. Le second (2,33 p. 1.000 de Na Cl) fournit une abondance de segmentations baroques, attestant dès le premier clivage une polyspermie qui intéresse au moins 50 p. 100 des œufs. Dans les lots 3, 4 et 5, la polyspermie tombe de 3 à 1 pour 100. Le 6e lot n'en montre pas une. » Ainsi donc, aussitôt que la concentration de la solution tombe au-dessous de l'optimum, même les mélanges salés les plus riches en éléments spermatiques n'amènent presque plus de polyspermie. Si l'on place des œufs *fécondés* et dépouillés ensuite de leur enveloppe gélatineuse dans une solution de Na Cl à 3,5 p. 1.000, le développement se poursuit jusqu'à l'éclosion. Or, comme on le sait, la fécondation, si elle n'était déjà acquise, serait impossible dans une telle solution à 3,5 p. 1.000.

La polyspermie, qu'on vient ainsi d'obtenir au moyen du chlorure de sodium, n'est pas physiologique (c'est-à-dire due à l'abondance des spermatozoïdes autour de l'œuf) : « elle est expérimentale et provoquée par le chlorure de sodium ». Comme les œufs déjà activés sont infécondables, il s'en suit que la polyspermie appartient à la période d'*activation*.

La polyspermie n'est pas due à l'absence ou au retard de la formation de la membrane, car Bataillon a montré que la *monospermie peut être assurée sans que la membrane se consolide*. La membrane est donc une formation accessoire. Ce qui conditionne le phénomène de la polyspermie ce n'est pas l'absence de consolidation de la membrane, c'est la réaction épuratrice et le changement d'état qui l'accompagne. En effet, les œufs activés électriquement et immergés aussitôt dans le sperme salé à 2,5 p. 1.000, bien que la consolidation de leur membrane soit empêchée, se montrent infécondables dans l'eau. Il faut faire intervenir l'action du milieu

sur l'œuf. En dépit de l'absence de membrane, le développement se poursuit.

L'arrêt de formation de la membrane et la polyspermie sont deux choses indépendantes. L'essentiel est la réaction qui barre la route aux éléments spermatiques. Si l'œuf ne répond pas instantanément par cette réaction au contact du premier spermatozoïde, la polyfécondation devient possible.

Si l'inertie de l'œuf est augmentée par une cause quelconque, telle que les sels, la chaleur, un vitellus abondant, sa réaction est retardée ; il y a un temps perdu pendant lequel les éléments mâles multiples peuvent pénétrer. Ce sont donc les phénomènes d'activation eux-mêmes qui, arrivés à un certain stade de leur développement, empêchent la polyspermie.

La polyspermie n'est abondante, avec le chlorure de sodium, qu'au voisinage de la concentration 2,5 p. 1.000. Au-dessus de 3. p 1.000 la fécondation est suspendue. Les sels produisent un retard dans la réaction d'activation de l'œuf et permettent ainsi la polyspermie. Ce retard varie essentiellement avec la *nature* de la solution employée. Les concentrations de Na I, Na Br, Az O^3 Na, isotoniques à des solutions à 2,5 p. 1.000 de Na Cl donnent un excellent rendement. Ils aboutissent à des segmentations polyspermiques baroques d'une richesse inouïe.

Au contraire, les sels correspondants de potassium donnent peu ou pas de polyspermies.

Avec le bromure de sodium, Bataillon a relevé 9/10 de polyspermies, à la concentration de 3,75 p. 1.000. Les cations Na sont donc beaucoup plus actifs que les cations K.

Les anions se rangent dans l'ordre suivant d'efficacité décroissante : iodures, bromures, azotates, chlorures.

Les sels à cations bivalents marquent de façon bien tranchée l'opposition entre la formation de la membrane, simple changement physico-chimique élémentaire et la réaction du plasme spécifique de l'œuf qui arrête ou permet la polyspermie.

Les sels à cations bivalents se comportent comme les sels monovalents, en ce qui concerne la consolidation de la membrane. Au contraire, avec $Ca Br^2$, $Ca Cl^2$, $Mg Cl^2$, on arrive aux doses qui annulent la fécondation, sans constater à aucun moment la formation de clivages baroques attestant la polyspermie. Bien plus, en mélangeant des solutions de $Ca Cl^2$ ou de $Mg Cl^2$ avec des solutions de Na Br qui produisent la polyspermie, celle-ci est empêchée par l'action antagoniste des premiers sels. Il y a inhibition de l'effet de Na Br. Au lieu de nombreuses polyspermies, il y a division régulière.

Enfin, on peut suspendre l'influence favorisante des solutions de Na Br à 2,5 p. 1.000 sur la polyspermie, par l'application de chocs électriques induits au cours de la fécondation. En produisant l'activation de l'œuf, les chocs induits (après un temps très court d'inhibition), arrêtent net la polyspermie occasionnée par les sels de Na Br.

Bataillon badigeonne des œufs au sperme bromuré, puis les soumet aux chocs électriques induits. La réaction d'activation arrête l'afflux des éléments spermatiques « C'est entre 4 et 6 minutes (après la mise en contact) que la pénétration des spermatozoïdes dans l'œuf atteint sa pleine intensité, au moins dans le milieu salé ».

Les conclusions de Bataillon méritent de retenir l'attention. Il considère que c'est de l'élément vivant, avec sa structure et son fonctionnement, que dépendent les phénomènes et les lois d'action des sels sur la réaction

de l'œuf, sur la contraction musculaire et sur les mouvements du cœur. « L'intervention expérimentale *ne crée rien*, quoiqu'on ait pu dire ; elle reste en marge de la morphogénie dont les ressorts propres sont internes. »

BIBLIOGRAPHIE

E. Bataillon : *La segmentation parthénogénétique expérimentale chez les Amphibiens et les Poissons.* (Comptes rendus Acad. des Sciences, 9 juillet 1900.)

Id. : *Imprégnation et Fécondation.* (C. R. Acad. Sc., 11 juin 1906.)

Id. : *Contribution à l'analyse expérimentale des processus de fécondation chez les Amphibiens.* (C. R. Ac. Sc., 7 juin 1909.)

Id. : *L'Embryogénèse complète provoquée chez les Amphibiens par la piqûre de l'œuf vierge; larves parthénogénétiques de* Rana fusca. (C. R. Acad. Sc., 18 avril 1910.)

Id. : *Les deux facteurs de la parthénogénèse traumatique chez les Amphibiens.* (C. R. Ac. Sc., 27 mars 1911.)

Id. : *La parthénogénèse expérimentale chez* Bufo Vulgaris. (C. R. Ac. Sc., 24 avril 1911).

Id. : *L'embryogénèse provoquée chez l'œuf vierge d'Amphibien par inoculation du sang ou du sperme de Mammifère.* (C. R. Ac. Sc., 8 mai 1911.)

Id. : *La parthénogènèse des Amphibiens et la Fécondation chimique de Lœb.* (Annales des Sciences naturelles. Zoologie. 9e série. 1912, XVI, p. 249-304.)

Id. : *Nouvelle contribution à l'analyse expérimentale de la fécondation par la parthénogénèse.* (Annales de l'Institut Pasteur, XXX, n° 6, juin 1916, p. 276.)

Id. : *Analyse de l'activation par la technique des œufs nus et la polyspermie expérimentale chez les Batraciens* (encore inédit au moment où ce chapitre est rédigé).

CHAPITRE IV

LA MORPHOLOGIE DYNAMIQUE
FRÉDÉRIC HOUSSAY

Au lieu de fixer son attention sur les mécanismes ultimes (déterminants figurés ou solubles) — par lesquels, *actuellement*, des êtres déjà très différenciés sont construits à l'image de leurs parents, M. Houssay élargit le sujet. Il cherche comment la matière vivante a été pétrie, sous quelles influences les grands groupes se sont différenciés, comment les espèces ont progressivement adopté les formes que nous leur voyons aujourd'hui. C'est dans les actions les plus générales du monde extérieur qu'il songe à aller découvrir les causes conférant aux êtres leurs caractères généraux et aux races leurs traits particuliers.

La Morphologie dynamique. — Cependant, penseur original, M. Houssay ne pouvait s'accommoder des cadres traditionnels dans lesquels, après l'avoir sectionnée en pièces, on a voulu distribuer les différents tronçons de la Biologie. Pour développer sa conception, il lui fallait d'abord rétablir les liens naturels artificiellement coupés, instituer une Biologie viable, pour qu'elle pût encadrer et expliquer les formes vivantes. De là, sa conception de la Morphologie dynamique. Il en a lui-même tracé le programme et donné les premières applications.

Qui donc, parmi les Biologistes, n'a pas été frappé de l'antithèse entre la tournure d'esprit qui règne en Physiologie et celle qui prévaut en Morphologie. Il semble qu'il y ait là deux mondes étrangers. Ils s'ignorent mutuellement.

Cette barrière, établie et maintenue artificiellement entre la Morphologie et la Physiologie, M. Houssay la brise. Il rejette cette distinction fatale, aussi pernicieuse à l'une des deux sciences qu'à l'autre, puisqu'elle les stérilise toutes deux. Les données objectives de la Physiologie et de la Morphologie coexistent indistinctes dans le réel. Pourquoi séparer ce qui est uni en fait ? Pour faire disparaître le désaccord, il suffit de renoncer aux dogmes classiques et d'en réviser le schème et les formules.

On a récemment voulu opposer la variabilité des formes vivantes à la fixité du fonds vital. Mais cette fixité est *relative*, au dire même des physiologistes. Comment donc faut-il entendre ce relatif ? D'une façon objective évidemment : on tient, qu'au regard de la variabilité des formes, celle du fonds vital est *minime* et *lente*. M. Houssay fait observer qu'on n'en sait rien, n'y ayant jamais regardé. Selon lui, la variation du *fonctionnement vital* serait plutôt rapide et accompagnerait celle de la forme, probablement même la précéderait. Quant à sa petitesse, il ne s'agit là que d'une question d'échelle, non d'importance qualitative. On objectera qu'il est question ici de la variation du fonctionnement vital, non de celui de la *substance* vivante. Mais celle-ci « n'ayant même pas de définition rigoureuse pour un type, je ne vois pas, dit M. Houssay, comment on pourrait mesurer des différences, qu'on ne sait pas apprécier, avec un type qu'on ignore ». Ce qui demeure certain, c'est que, la seconde variabilité étant beaucoup moins connue que la première, il y a lieu de l'étudier à l'aide d'une technique

nouvelle et appropriée, de façon à permettre sa comparaison avec la première à une échelle convenable.

M. Houssay pose la formule suivante : « La forme et la vie sont l'une et l'autre variables entre certaines limites ; elles varient ensemble ; leurs variations sont liées par des lois qui apparaîtront à force de patience dans des investigations étendues. »

Déjà, dans le domaine même des sciences de la matière inerte, il n'est pas possible de séparer l'étude des phénomènes de celle des instruments qui les produisent. Le phénomène est indissolublement lié aux conditions que réalise l'appareil qui le fait naître. Il n'existe pas sans elles ; il en est une transformation. Aussi les physiciens ne divisent-ils pas la Physique en deux sciences : l'une dans laquelle on se borne à décrire des instruments, l'autre, où l'on étudie les phénomènes sans se soucier des appareils.

Combien plus étroite et profonde encore, la liaison des pièces morphologiques et des manifestations physiologiques chez ces êtres vivants où la fonction modèle la forme et où la forme fait la fonction, où chaque élément est à la fois générateur de puissance motrice, transformateur, pièce de transmission et outil de travail ! La machine elle-même est plastique et sensible. Elle est modifiée par son propre travail. Elle l'est encore par les résistances extérieures contre lesquelles son effort vient se buter en s'exerçant.

Ainsi un programme d'études se dessine. Une science nouvelle surgit, plus compréhensive, plus synthétique, plongeant plus profondément au cœur des sciences biologiques. Cette science, c'est la *Morphologie dynamique*. Elle sera l'œuvre du XXe siècle. La physiologie, trop longtemps, était restée statique. Aujourd'hui elle s'engage timidement dans les voies cinématique et dynamique. A se désintéresser des

concordances morphologiques, elle se condamnerait à ne saisir qu'un aspect du phénomène, des faits sans signification. Dans l'étude des métamorphoses, il a bien fallu mélanger les deux données : la nécessité s'en imposait brutalement. Mais ce qui se passe partout, pour être moins grossièrement visible, est sans doute du même ordre. Les difficultés techniques sont plus grandes — la méthode de recherches doit être la même. Dans l'exemple cité, nous voyons nettement toute l'importance de l'association préconisée. « La donnée même de *métamorphose* est à la fois physiologique et morphologique ; car, si elle repose sur des changements de forme, ces derniers sont signalés comme capitaux pour des raisons de fonctionnement, par des changements de vie ». Et les examens morphologiques s'imposent. Et l'on découvre le rôle de la *phagocytose* dans les phénomènes d'*histolyse*, de la phagocytose « phénomène physiologique signalé par des qualités de forme ». Et chacun sait le rôle attribué aujourd'hui à ce processus de fonctionnement, à l'intérieur des organismes supérieurs et dans la digestion et l'excrétion des Invertébrés.

On peut trouver ailleurs d'autres liaisons. La physiologie devra s'attacher à comparer le fonctionnement vital dans les divers types d'animaux, définis par la forme, et entre lesquels il y a des différences de vie. C'est ici sur la sériation des *différences* que se portera l'attention.

Elle pourrait se porter également sur les sériations de la physiologie ontogénique en les rapprochant de celles de la physiologie comparée. Ces comparaisons de séries seraient « de merveilleux instruments pour suggérer les spéculations dynamiques et poser des problèmes qui sont, après tout, le but ultime vers lequel doivent tendre les études de la biologie. »

Le Milieu. — Ce n'est pas seulement la forme organique et la vie qui ne font qu'un, et dont on devra étudier les relations mutuelles, puisqu'elles sont deux expressions d'un même fait. L'être et le milieu ne font qu'un aussi. Ils forment un tout inséparable, tant ils se pénètrent et se prolongent mutuellement. Mais qu'est-ce que le *milieu* pour M. Houssay ? Ce n'est pas ce que considèrent d'habitude les auteurs de manuels. Pour ceux ci, le milieu, d'une part, l'être, d'autre part, sont des termes bien distincts, nettement délimités par une surface, celle du corps de l'animal ou de la plante, surface séparatrice bien reconnaissable, qui reste la même lorsque l'animal est empaillé ou la plante séchée. Pour eux, ces deux termes, le milieu et l'être, ont chacun des caractères propres, très différents, et peuvent constituer deux objets d'études bien tranchés.

Or, pour M. Houssay, cette distinction est une pure convention. Et cette convention est mauvaise : elle nous cache la vraie nature des choses. Un être vivant, où commence-t-il ? où finit-il ? Ce chêne continue le soleil par les radiations qu'il en reçoit, qu'absorbe la chlorophylle de ses feuilles, et celle-ci élabore les substances synthétiques naissant en ses tissus. Il fait partie de l'atmosphère qui l'environne par la vapeur d'eau qu'il émet et qui passe en elle, par l'oxygène et le gaz carbonique qu'il y puise sans cesse. Il continue le sol par ses racines et c'est à l'action de la pesanteur, née de la gravitation universelle, qu'il doit sa belle poussée verticale. Le Cosmos est en lui tout entier, et il est une part du Cosmos. « Ce chêne », dit M. Houssay, « est un être de raison, aussi fortement abstrait qu'un triangle. »

Et il en est de même d'un animal tel que nous l'envisageons d'ordinaire, avec notre mentalité élémentaire et notre esprit séparatiste. Cela est trop évident pour une Eponge

ou pour une Méduse que l'eau de mer pénètre, auxquels elle sert de sang. Mais prenons un Chien. Nous croyons pouvoir l'isoler avec certitude. L'animal se termine à sa peau. En dedans de celle-ci, c'est le chien ; au dehors, c'est le milieu. Erreur ! Ce chien a des narines, une trachée, des poumons. Dans les mille ramifications des bronches qui perforent ses poumons, l'atmosphère extérieure se continue, l'air ambiant arrive. Bien plus, cet air passe, par osmose, à travers les membranes imparfaites des alvéoles et des capillaires, il entre dans le sang et, entraîné par lui, gagne les profondeurs les plus intimes des tissus. Il oxygène les substances de réserve. Si l'on interrompait la communication, si l'on supprimait, ne fût-ce qu'un instant, l'intime union, l'être cesserait aussitôt de vivre. Dans son tube digestif, véritable prolongation du milieu extérieur, ce chien introduit à chaque instant des substances faisant partie de ce milieu ; celles-ci, transformées par les sucs digestifs qu'il sécrète dans ce tube qui le traverse, passent en lui, absorbées par les villosités de son intestin, et vont atteindre finalement ses cellules, qui les assimilent. Inversement, le chien rejette, à travers sa peau, ses poumons, ses reins, de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique, des liquides, des déchets, de la chaleur. Ces substances, cette chaleur, quand cessent-elles d'être le chien, quand appartiennent-elles au milieu ambiant ? Question insoluble, car elle n'a pas de sens défini.

Ainsi l'Etre n'est pas seulement plongé dans le Cosmos. Il est en continuité avec lui. Il en est une parcelle, un point singulier, dirait un mathématicien. Parcelle protoplasmique qui reçoit son impulsion, sa ration d'entretien, qui tient son individualité même de cet Univers dont elle fait partie ; elle transfuse seulement, transformé ou non, ce qu'elle reçoit de lui. L'Univers cosmique passe comme un fleuve

à travers la matière vivante. Il la modifie et sort d'elle modifié lui-même. Sans ce double courant qui va de l'ambiance aux Etres et des Etres à l'ambiance, aucune vie ne se peut concevoir, car aucune n'est possible sans lui. Or, ce fleuve cosmique, en traversant l'Etre, agit sur lui de mille façons diverses. Il le fait par des procédés variés. Les uns sont visibles à tous et d'une grande généralité ; d'autres sont à la fois plus cachés et plus spéciaux. Ces procédés, étudiés séparément, seront l'objet des diverses sciences biologiques de l'avenir. C'est précisément parce qu'on a toujours considéré la vie comme quelque chose de spécial, de mystérieux et d'inconnaissable, comme une chose à *part* dans l'Univers, portant en soi ses conditions propres, que les causes les plus évidentes, les actions les plus patentes, grâce à leur trop grande généralité, ont été négligées plus longtemps que les autres. S'étendant partout, couvrant tout, on a oublié de les considérer. Et pourtant la richesse de leurs conséquences est infinie. Telles sont ces grandes actions mécaniques que la gravitation engendre, et qui impriment sur toute la morphologie des animaux et des végétaux des marques si frappantes. C'est à la force centrifuge, suscitée par la rotation de la terre, d'une part, aux tourbillons nés des résistances inégales ou des frottements que rencontre un fluide en mouvement (ou les êtres qui se déplacent en lui) d'autre part, que M. Houssay a rapporté la raison de tant de traits généraux de la morphologie animale et végétale.

A la force centrifuge et à la pesanteur il attribue l'attitude verticale des plantes et des animaux fixés, les symétries rayonnées ; aux mouvements tourbillonnaires, les dispositions spiralées si nombreuses dans la nature, depuis la disposition des feuilles et des rameaux sur la tige des plantes, en passant par les Turritelles et les Spirographis, jusqu'aux

Poissons qui ont la forme d'une veine inversée, comme nous allons le voir, jusqu'à l'homme lui-même, présentant toujours une légère dissymétrie alternante superposée à la symétrie principale.

Si toute manifestation de forme traduit un phénomène fonctionnel, le milieu à son tour met son empreinte en toute forme comme en toute fonction. Il est le véritable créateur de l'œuvre vivante et agissante, chimiste, physicien et ingénieur à la fois. Le mouvement générateur des forces est son principal outil de travail.

La forme des Poissons. — Ces principes généraux, M. F. Houssay les a appliqués à l'étude de la forme des Poissons. Dans une série d'expériences, il a pu montrer que les formes des Poissons, si variées et si étranges, sont exactement celles qui répondent à la moindre résistance offerte à leur mouvement dans l'eau, si l'on tient compte de leur taille, de leur densité, et de la puissance motrice qu'ils mettent en jeu. M. Houssay a d'abord construit un certain nombre de modèles en bois, ayant des formes géométriques plus ou moins compliquées. Il les déplaçait dans l'eau, et mesurait, pour chaque vitesse, la résistance éprouvée. Les formes étudiées étaient au nombre de 6. Elles sont représentées sur la figure ci-contre (Fig. 4 : I-VI).

Chacune des formes I-VI était réalisée en 3 modèles de dimensions différentes, de 18, 27 et 36 centimètres, peints (pour égaliser la résistance des surfaces) et lestés, de façon à flotter à mi-eau. Les vitesses imprimées variaient de 0 m. 40 à 7 mètres par seconde.

Ces modèles étaient mis en mouvement, dans chaque expérience, au moyen d'une force constante et connue. La proportion relative (ou pourcentage) de *puissance* perdue

dans chaque cas est reliée, aux temps employés pour parcourir une même distance fixe, par une relation simple[1].

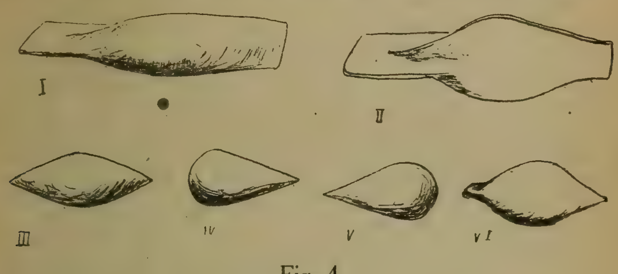


Fig. 4.

On mesure ces temps seulement. Voici le classement trouvé par M. Houssay.

1° Forme IV : Cône gros bout antérieur.... Perte 22 %
2° Forme V : Cône petit bout antérieur.... Perte 24 %
3° Forme VI : Poisson .... Perte 29 %
4° Forme II : Veine inversée .... Perte 30 %
5° Forme III : Fuseau biconique .... Perte 32 %
6° Forme I : Fuseau bidiédrique .... Perte 36 %

On voit que ce n'est pas la forme Poisson qui vient en tête. Elle ne vient qu'au 3e rang. En réfléchissant à ce résultat, M. Houssay ne tarda pas à en découvrir la cause. Les formes géométriques employées dans les expériences ont un défaut qui les différencie des Poissons réels : elles sont *instables* pendant leur mouvement dans l'eau, tandis que le poisson, *à toute vitesse*, est stable. Cette stabilité,

1. $\frac{100\,(P - P')}{P} = \frac{100\,(t' - t)}{t'}$, P et P' puissances, t et t' temps.

il la doit à ses nageoires. M. Houssay a donc été amené à étudier l'instabilité des carènes en mouvement dans l'eau, les causes et les caractères de cette instabilité, puis le rôle stabilisateur des nageoires.

Quand on déplace rapidement un corps solide dans un milieu résistant, tel que l'eau, le mouvement de translation est troublé par des mouvements transversaux causés par des tourbillons nés du frottement. Ces tourbillons ajoutent, à la pression statique du liquide sur le corps, des pressions obliques à la direction de translation et changeant celle-ci en un mouvement complexe.

Chaque forme solide, chaque carène, a ses mouvements propres, son instabilité particulière. Elle consiste en des oscillations autour d'une position moyenne. En étudiant le phénomène, M. Houssay a vu que « chaque mobile dessine une figure virtuelle inverse de la sienne propre. Ainsi, une carène, ayant la forme d'un cône qui se déplace avec le gros bout en avant, décrit un cône ayant le petit bout en avant ; un fuseau décrit un paraboloïde hyperbolique. La forme de l'oscillation dépend de celle du mobile. » Fig. 5, A et B.

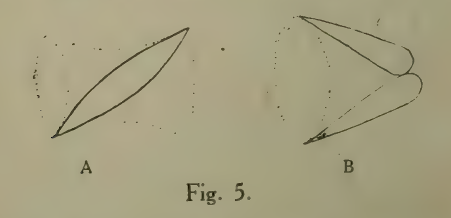


Fig. 5.

Intervention des nageoires. — Les nageoires produisent la stabilisation en gênant la formation et modifiant la direction des tourbillons et en empêchant les déplacements latéraux.

Si par exemple on considère les nageoires des Squales ou des Truites, on constate que, pendant la filée, elles sont étalées horizontalement, empêchant ainsi les oscillations. La nageoire dorsale agit de même.

M. Houssay munit alors de nageoires artificielles en aluminium les carènes en bois de différentes formes dont il voulait étudier la résistance au déplacement. Mais les nageoires des poissons ne sont pas de petites lames rigides ; elles sont souples et oscillent autour de leur ligne d'attache, sous la pression vibratoire de l'eau. Pour donner aux nageoires artificielles la souplesse qui leur manquait, il fallait donc les rattacher au corps principal par des liaisons élastiques, leur permettant d'effectuer des mouvements alternatifs. Les nageoires artificielles, imaginées par M. Houssay, étaient faites d'un petit triangle d'aluminium ; elles étaient piquées à l'avant par une épingle dans le modèle de bois, et rattachées à l'arrière par deux fils de caoutchouc (fig. 6).

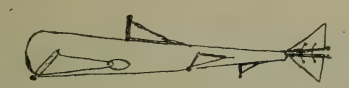


Fig. 6.

Sous l'influence des remous, les nageoires vibrent. Les modèles gréés de nageoires sont devenus parfaitement stables. Les oscillations transversales sont supprimées pendant la marche. Les nageoires battent.

La stabilisation, en général, en augmentant la surface de résistance, fait perdre de la vitesse au mobile. Dans les expériences, une seule exception a été rencontrée : *c'est la forme courte du Poisson.*

Elle est « exceptionnellement excellente », dit M. Houssay. « Elle gagne, tout à la fois, stabilité et vélocité, et cela à toute vitesse ».

Pour chaque longueur du modèle, on a obtenu le même classement :

1° Forme poisson.

2° Cône.

3° Veine inversée.

Ainsi, les expériences sur les modèles stabilisés par addition de nageoires battantes ont entièrement confirmé les prévisions.

Lorsqu'un corps solide plastique se déplace dans un liquide, le liquide forme autour de lui des courant spiralés, qui l'enveloppent tout entier comme d'un manteau. Pour étudier la forme de ces courants spiralés et leur distribution autour du corps en mouvement, M. Houssay munissait la surface de celui-ci de légers fils de soie colorée, qui montraient, à chaque point, la direction du flux liquide. Il a muni de ces petites oriflammes de soie, non seulement ses modèles de bois, mais le corps d'un poisson réel, et même celui d'un homme, excellent nageur et plongeur, qui a bien voulu se prêter à l'expérience. Fig. 7.

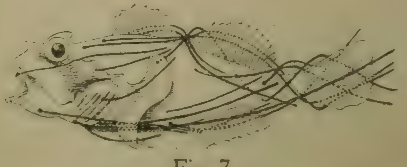
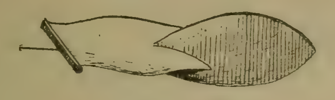


Fig. 7.

Que ces courants spiraux exercent sur un corps plastique, comme l'est celui d'un être vivant en croissance, des pres-

sions, qui finissent, à la longue, par modeler sa forme, c'est ce que M. Houssay a montré d'une façon très élégante. Il remplissait aux trois quarts, avec de la cire ou du suif, de petis sacs allongés, et les promenait à grande vitesse, dans l'eau. Ceux-ci prenaient alors, spontanément, sous l'influence des pressions subies, la forme de veine inversée,



Eig. 8.

c'est-à-dire une forme aplatie à l'avant suivant un plan horizontal et à l'arrière suivant un plan vertical. C'est précisément la forme à laquelle on peut rattacher celle de tous les poissons bons nageurs, tels que le Brochet, le Requin, etc. M. Houssay a encore étudié d'autres types : celui des poissons comprimés latéralement, tels que la Daurade, la Carpe. Les nageoires, ici, doivent présenter une constriction, et leur place est modifiée pour réaliser la stabilisation.

De ses longues et profondes recherches, poursuivies, pendant plusieurs années, M. Houssay a tiré les conclusions suivantes :

1° La meilleure forme *stable* de résistance minima, et de meilleur rendement, est la forme courte de poisson, obtenue à l'aide de tailles inversées sur un cône de révolution.

2° Toutes les formes de poisson se stabilisent à l'aide de nageoires. Sur les formes courtes, la stabilisation totale peut toujours être obtenue par de faibles relâchements ou de légères tensions des nageoires paires. Sur les formes allon-

gées, certaines vitesses exigent l'effilement des nageoires pectorales :

3° La forme cônique, à moins qu'elle ne soit courte, ne peut être stabilisée, à certaines vitesses, par aucun procédé comparable aux procédés simples de la nature.

INFLUENCE EXERCÉE SUR LA MORPHOLOGIE ET LA PHYSIOLOGIE DES ORGANES DIGESTIFS PAR UNE MODIFICATION DU RÉGIME NUTRITIF. — Quelques années avant ses recherches sur la forme des Poissons, M. Houssay a fait une série d'expériences portant sur six générations de Poules, expériences destinées à mettre en lumière l'influence du régime nutritif sur le tube digestif et les glandes annexes. M. Houssay a fait, en même temps, des observations psychologiques très intéressantes sur les changements d'instincts concomitants. Ces recherches s'étendent sur une période de 6 années consécutives.

M. Houssay prend d'abord un lot témoin, composé d'un coq et de deux poules, soumis à un régime exclusivement granivore. En même temps, il soumet au *régime de la viande crue* un autre lot composé également d'un coq et de deux poules.

I. Voici d'abord quelques traits généraux relatifs aux résultats constatés :

Après chaque année de régime carné exclusif (alimentation carnée de premier choix et conditions hygiéniques excellentes),

A) le poids s'accroît de façon continue, et est supérieur à la normale ;

B) l'auto-intoxication se produit et elle finit par atteindre un tel degré qu'il y a impossibilité à pousser plus loin l'expé-

rience, comme on le verra bientôt. Il se produit en effet un surmenage des organes digestifs épuratoires, du foie et du rein notamment ;

C) les femelles résistent mieux que les mâles.

II. *Modifications des organes.* — Dès la deuxième génération, l'intestin se modifie, il s'épaissit, se raccourcit ; le jabot se réduit, sa structure change ; le gésier est considérablement réduit et moins résistant.

A partir de la troisième génération, le rein et le foie ont commencé à fléchir.

III. *Œufs.* — La ponte des œufs est un des faits biologiques les plus importants chez les Oiseaux. Dans tous les cas, le régime carnivore a augmenté le nombre des œufs : pendant une ou deux générations, cette augmentation va en croissant, puis un maximum est atteint et une décroissance se produit. Mais le résultat total est toujours supérieur à celui que présentent les poules granivores.

Dans les premières générations, l'œuf n'a aucun goût particulier, mais, dans les suivantes, à partir de la troisième, l'œuf présente un « goût fort » .

Le poids de l'œuf atteint un maximum à l'avant-dernière génération. Puis la *stérilité* survient : les œufs, bien que fécondés, ne se développent plus. Les œufs sans coquille augmentent en nombre, ainsi que les œufs à deux jaunes.

IV. *Durée de la vie.* — Non seulement, dans l'expérience prolongée, les œufs se développent de moins en moins, mais les poulets éclos ont moins de vitalité. Le nombre des animaux qui n'atteignent pas l'état adulte va en croissant.

Sur 23 morts prématurément, 18 sont des mâles et 2 seulement des femelles : il meurt prématurément 9 mâles pour 1 femelle.

Chez les oiseaux carnivores, donc, les mâles sont 4 fois plus fragiles que les femelles. C'est d'ailleurs une notion de plus en plus répandue aujourd'hui que les *mâles sont des êtres plus intoxiqués que les femelles.*

Il est intéressant de noter que, si l'intoxication rend les mâles plus fragiles, elle est d'autre part une cause d'accroissement de proportion des mâles produits : à mesure que l'expérience se poursuit, le nombre des naissances de mâles augmente manifestement. Cela ressort des nombres donnés par M. Houssay.

V. *Psychologie. Modification des instincts. Comportement.* — L'instinct maternel est dévié chez les poules carnivores.

Dès la première génération, une tendance *germicide* commence à se montrer. « Une poule commence par manger les œufs de sa compagne dès le début de la ponte. Même, elle ne tarde pas à montrer plus d'impatience et cherche à attaquer à coups de bec l'œuf de sa compagne avant même qu'il soit pondu, déterminant ainsi chez cette dernière une inflammation qui se propage, cause une tumeur et amène la mort de la poule. Puis, entre temps, elle se prend à manger ses propres œufs. Deux autres poules, placées dans l'enclos voisin, se mirent, aussi, quelque temps plus tard, au saccage des œufs, bien qu'elles n'y eussent aucunement touché jusque-là. »

M. Houssay isola alors les poules dans un réduit obscur où elles ne touchaient plus aux œufs pondus. Mais l'une d'elles montra l'instinct à un degré plus impérieux encore, puisqu'elle se mit à manger ses propres œufs, seule, et dans

l'obscurité. Il fallut alors non seulement l'isoler dans le réduit obscur, mais encore la museler.

La combativité des mâles est un des instincts essentiels des animaux, et la possession des femelles en est une des causes les plus fréquentes, ainsi qu'on peut le voir dans une basse-cour ordinaire. Cet instinct bellico-sexuel paraît surtout vif chez les végétariens. Les carnivores semblent plutôt combattre pour une place ou une proie que pour une femelle. En fait, l'instinct combatif est en décroissance chez eux.

Les poulets de 2e et de 3e génération conservaient encore l'instinct batailleur, mais, à la 4e génération, quatre mâles, âgés de cinq mois, demeurèrent auprès d'une femelle unique en paix complète : des coqs ordinaires se fussent depuis longtemps entre-tués. Ces animaux restèrent en bonne intelligence jusqu'à ce que la maladie forçât de les sacrifier.

Saisissant le grand intérêt psycho-biologique de ces changements d'instinct, M. Houssay a entrepris une série d'expériences supplémentaires pour mettre en lumière les changements d'instinct corrélatifs aux changements de nourriture. Les voici brièvement résumées :

1° Le coq carnivore Ac est introduit dans la cage où le coq granivore Ag se trouve avec ses poules. Ce dernier saute immédiatement sur l'intrus et lui arrache la moitié de ses plumes. Le coq carnivore se laisse battre. On les sépare.

2° On remet le coq carnivore dans la cage du granivore, après avoir lié les pattes de celui-ci. Le coq carnivore se dirige vers l'auge aux grains et invite les poules à manger. C'est le prélude de la lutte des mâles. Les poules, dont le repas était fini, et qui ne mangeaient plus, acceptent, et tous les trois mangent avidement.

Le coq granivore ne pouvant bouger, on arrête l'expérience.

3° On introduit le coq granivore dans la cage du carnivore, *les deux animaux étant libres*, expérience inverse de la première. Le coq carnivore ne saute pas immédiatement sur son rival, comme ce dernier l'avait fait dans la première expérience. Le granivore avise un morceau de viande et invite les poules à manger. Celles-ci s'approchent. A cette provocation précise, le coq carnivore saute de son perchoir, et bondit en face de son agresseur. Une lutte acharnée s'engage, dans laquelle les crêtes et les joues sont déchirées et le sang ruisselle. On sépare les combattants.

L'aliment, conclut M. Houssay, est, dans ces phénomènes, le déterminisme causal. On le voit de plus en plus à mesure que les expériences se prolongent. Les femelles n'y sont plus pour rien.

VI. — Le changement de régime nutritif produit des manifestations pathologiques diverses qui se montrent au cours de l'expérience : des arthrites, par exemple, avec gonflement et déformation des jarrets et douleurs articulaires. Ces maladies sont rapidement guéries par 8 jours de régime végétarien. Cependant, les animaux guéris refusent de reprendre d'une façon constante leur régime végétarien et montrent une inclination pour les aliments carnés. La même chose s'est produite chez l'homme.

VII. — Quand on poursuit l'expérience d'alimentation carnée des poules pendant très longtemps, après un certain nombre de générations, on constate que les modifications anatomiques du tube digestif et de ses annexes (raccour-

cissement de l'intestin, formation de régions glandulaires), que l'on avait observées d'abord, commencent à disparaître. Il y a une tendance à un retour plus ou moins complet à la structure normale. Les modifications acquises ne semblent pas stables.

BIBLIOGRAPHIE

HOUSSAY (Frédéric) : *La Forme et la Vie*. (Paris, Schleicher.)

ID. : *Nature et Sciences naturelles*. (Paris, Flammarion édit.)

ID. : *La Morphologie dynamique*. (Paris, Hermann.)

ID. : *Forme, Puissance et Stabilité des Poissons*. (Paris, Hermann.)

ID. : *Etudes sur six générations de Poules carnivores*. (Arch. de Zoolog. expérim., 1906.)

ID. : *Force et Cause* (vient de paraître). (Paris, Flammarion, édit.).

CHAPITRE V

LA THÉORIE DE LA PRÉADAPTATION DES ORGANISMES AU MILIEU : L. CUÉNOT

Dans son livre célèbre, *La Genèse des Espèces*, M. L. Cuénot, professeur à l'Université de Nancy, a abordé presque tous les grands sujets de la Biologie générale. Grâce à sa connaissance approfondie de groupes importants du règne animal et surtout à une expérience personnelle de plusieurs des questions traitées, M. Cuénot a présenté sur les problèmes discutés des vues neuves et profondes. La théorie explicative qu'il propose de l'apparente adaptation des êtres au milieu où ils vivent semble destinée à remplacer, de nos jours, les théories lamarckienne et darwinienne.

Les doctrines exposées dans cet important ouvrage méritent une analyse et une discussion approfondies.

Nature et durée des phénomènes de la vie. — Beaucoup de personnes, de nos jours encore, voient dans la vie quelque principe mystérieux. Chaque parcelle des êtres vivants serait animée par une étincelle divine.

Le corps et les organes des animaux seraient commandés, gouvernés par une sorte d'entité pensante et agissante ayant ses aspirations propres, ses tendances, sa volonté. Serviteurs zélés exécutant les ordres du maître !

Ce vitalisme plus ou moins avoué est un reliquat de l'antique théorie platonicienne des Idées : le monde des corps et des phénomènes physiques est une réalisation plus ou moins parfaite des grandes Idées éternelles qui sont l'Absolu.

L'étude approfondie des êtres vivants est bien loin de confirmer cette conception simpliste. Les plus simples d'entre eux, les Plastides les plus rudimentaires, — Protistes pour lesquels la distinction des animaux et des végétaux n'a plus de sens, — sont formés déjà d'un mélange organisé, de composés complexes *hétérogènes*. Et c'est de cette constitution hétérogène que semble résulter la vie : Colloïdes divers, en grains plus ou moins gros, porteurs de charges électriques, nageant dans des solutions électrolytiques ; noyaux et fibrilles séparés du milieu environnant par des membranes semi-perméables ; réserves insolubles, en parcelles cristallines ou amorphes, etc.

« Il n'y a rien de vivant dans une cellule, sauf l'ensemble ; un grain d'amidon ou un cristal n'est ni plus ni moins vivant qu'un grumeau de chromatine ou un granule de cytoplasme ; les uns et les autres jouent leur rôle dans les réactions réciproques dont l'expression constitue la vie élémentaire ; c'est le groupement de ces substances hétérogènes, leur instabilité, leurs rapports quantitatifs, qui font que l'ensemble a des manifestations assez spéciales pour qu'on leur ait donné le nom particulier de vie [1]. »

Quand cette machine chimique qu'est un être vivant a fonctionné quelque temps, certaines parties s'usent, d'autres s'encrassent ; des substances jusque-là dissoutes se déposent, précipitent, comme disent les chimistes. La résistance à

1. Cuénot, *la Genèse des espèces animales*, p. 25.

l'assaut que livrent constamment à tout ce qui respire et assimile les forces physiques du Cosmos, et surtout les Parasites toujours avides, faiblit.

« La Vie est la résistance à la mort », a dit Bichat. La Sénilité commence, lentement, mais sans trêve, l'organisme se dégrade. Il est dévoré vivant, et en même temps pétrifié. Un vieux Perroquet, dont il fait l'autopsie, présente à Metchnikoff « l'ovaire atrophié, une dégénérescence accentuée des cellules du cerveau, un plumage rare ».

Au bout d'un temps plus ou moins long, la mort arrive. Elle n'est rien autre que la dislocation de l'édifice, et partant, la cessation du système des phénomènes auquel nous donnons le nom générique de « Vie ».

La durée de la vie n'est pas indéfinie. Pour chaque espèce animale il y a une limite maxima. Cette limite est très variable et, chose singulière, rien ne peut la faire prévoir *à priori* : elle ne dépend ni du régime, carnivore ou herbivore, ni de la taille du corps. Un Lion (carnivore), peut vivre 35 ans ; un Mouton (herbivore), 15 ans ; un Cerf (herbivore), 40 ans ; une Souris (petite taille), 2 à 3 ans ; un Eléphant (grande taille), 100 à 120 ans ; un Perroquet (petite taille), 100 ans et plus ; un Pigeon, une Poule (petite taille), 10 à 30 ans ; une Tortue, 300 ans ; une Huître perlière (Invertébré), 50 à 100 ans ; une Abeille (Invertébré), 5 à 6 mois ; une Actinie (Invertébré), 67 ans.

La lutte entre la théorie des facteurs externes et celle des facteurs internes. — Lorsque les naturalistes eurent découvert le phénomène des *mutations*, c'est-à-dire l'apparition brusque d'individus à caractères nouveaux, transmissibles héréditairement, ils cherchèrent à rattacher

ces faits à la théorie de l'hérédité mendélienne, et à trouver en elle une explication.

Leur attention se porta surtout sur les *facteurs internes* de l'être vivant ; l'action du milieu physique extérieur fut rejetée au second plan. Les biologistes avaient jusqu'alors cherché dans l'action des facteurs externes : chaleur, humidité, lumière, nourriture, salure, activité physiologique... les causes de la déformation des êtres suivant les milieux, de leurs adaptations, enfin de l'évolution des espèces.

Ils apportaient — et ils ont continué à le faire — des expériences précises et démonstratives, à l'appui de leurs dires. Ils réalisaient des expériences de transformisme. Sans nier les faits présents, la nouvelle école mutationiste les critiqua. Elle en contesta la portée comme explication transformiste. Elle distingua les *fluctuations*, — variations *purement individuelles*, produites par les facteurs cosmiques externes, *non transmissibles héréditairement*, — des *mutations*, apparition subite et inexpliquée de caractères nouveaux chez quelques descendants d'une espèce normale — caractères stables, transmissibles héréditairement. Les fluctuations, pour les mutationistes, sont de simples balancements autour d'une position d'équilibre. Les variations, après avoir atteint, dans un sens, une certaine amplitude, reviennent en sens inverse. La mutation, au contraire, est une rupture d'équilibre. A sa suite, un nouvel arrangement des éléments s'établit. Les facteurs internes, trop négligés par l'école du transformisme lent, se trouvent remis au premier plan par l'école mutationiste. « La succession des stades (dans les cyclomorphoses saisonnières et les développements à métamorphoses) est déterminée par des *facteurs internes*, c'est-à-dire, en dernière analyse, par le patrimoine héréditaire ; les facteurs externes variables (nourriture, tempéra-

ture, etc.) peuvent intervenir plus ou moins efficacement pour ralentir ou accélérer l'entrée en crise [1]. »

Ainsi, c'est le patrimoine héréditaire qui est invoqué comme cause déterminante de la succession des métamorphoses saisonnières — saisonnières ou autres. La température et la nourriture n'interviennent plus que comme causes occasionnelles. Que vont répondre les adversaires du mutationisme ? Ceci, je pense. Oui, très bien, *actuellement* cette succession est déterminée par les facteurs internes, mais, ce patrimoine héréditaire dont vous parlez a été façonné lui-même au cours des temps, par les facteurs physiques qui ont pétri la pâte vivante et les organes des corps animés.

Toute la question est là : les mutationistes ne nient pas l'influence modificative des facteurs externes. Ils la reconnaissent, ils la proclament. Mais cette modification, disent-ils, ne porte que sur le soma ; elle n'est pas héréditairement transmissible.

Pourtant il faut toujours en venir aux grandes forces cosmiques. Quand on lit avec attention les livres des partisans de la mutation, on s'aperçoit qu'eux aussi font intervenir les agents physiques dans le transformisme ; seulement ils en font des causes lointaines. Dans le patrimoine héréditaire, ils voient, à juste tire, les causes prochaines. Les facteurs physiques, avouent-ils, *favorisent* les mutations dont la cause est interne. « Il arrive parfois que les *facteurs généraux*, *en plus* des modifications somatiques, *provoquent*, lorsqu'ils agissent pendant la période sensible de l'ovogenèse ou de la spermatogenèse, des mutations dans les gamètes [2]. »

1. Cuénot, *Genèse des espèces*, p 163.
2. Cuénot, *loc. cit.*, p. 180.

Et M. Cuénot discute les expériences de Standfuss, de E. Fischer et de Kammerer.

Standfuss, en soumettant à la gelée les chrysalides du Papillon *Venessa urticæ* obtient 42 individus mélaniques sur 8.231 pupes. En accouplant les individus présentant la variation la plus accentuée, il obtient 200 Papillons. Les chenilles et les chrysalides dont proviennent ceux-ci ont été élevées dans des conditions absolument normales. Or, parmi ces Vanesses de seconde génération, on trouve 4 mâles mélaniques. Tous les quatre d'ailleurs proviennent de la même mère.

E. Fischer soumet à une température très basse (—8°), pendant plusieurs heures par jour, des chrysalides d'*Arctia caja*. Sur 48 insectes parfaits obtenus, il trouve 41 anormaux présentant des caractères mélaniques.

Un couple aberrant donne, à la seconde génération, 156 Papillons normaux et 17 individus ayant les caractères des parents (taches noires envahissant la presque totalité des ailes [1]).

M. Cuénot, dans sa critique de ces expériences, ou plutôt de leur interprétation, fait remarquer, non sans raison, que bien qu'on fasse agir la même influence sur tous les animaux, *le résultat est variable.* Il souligne aussi le nombre restreint d'individus, qui, dans ces conditions, présentent un caractère aberrant. Pour lui, l'agent physique que l'on fait agir (ici la gelée) sert à opérer le *triage* des individus préparés à donner une mutation, la séparation des organismes en état d'équilibre instable en quelque sorte, plutôt qu'il ne produit lui-même la variation.

Une fois sélectionnés, les descendants de ces mutants, même élevés dans des conditions normales, ont toute chance de conserver leurs caractères anormaux.

Il faut bien avouer que, dans les expériences citées de Standfuss et de E. Fischer, la variation provoquée s'est montrée peu solide. Elle n'eut pas une longue suite. Mais d'abord l'action n'a pas été prolongée suffisamment pour modifier profondément le germen. La précarité des résultats peut donc, au contraire, s'interpréter en faveur de la transmission des caractères acquis.

D'autre part, le caractère observé, le mélanisme, n'a pas une grande valeur. Ce n'est sans doute pas sur lui qu'a porté principalement la modification.

Les expériences de Kammerer, et surtout celles de Tower sont bien autrement démonstratives.

Kammerer prend pour matériel deux espèces de Salamandres : l'une de ces espèces, *Salamandra atra*, vit habituellement sur les montagnes élevées des Alpes. Elle est accoutumée à subir le froid et les fortes variations thermiques. Elle vit en outre d'une vie terrestre, les mares étant rares sur les pentes montagneuses. D'aspect, elle est petite et noire. Elle donne 2 petits seulement. Ceux-ci, après avoir passé par tous les stades du développement embryonnaire dans l'utérus maternel, naissent sans branchies, aptes à mener d'emblée la vie terrestre.

Les représentants de l'autre espèce, *Salamandra maculosa*, vivent dans les plaines, sur les chaînes peu élevées, ou sur le socle de base des hauts monts. Le corps porte de larges taches jaunes ; il est plus gros que celui de *Salamandra atra*. Au moment de la ponte, *Salamandra maculosa* recherche les mares. Elle met au monde un grand nombre de petits, jusqu'à 72 parfois, une quinzaine au moins. Ceux-ci naissent à un stade peu avancé de leur développement. Ils sont pourvus de branchies plumeuses, et mènent la vie aquatique plusieurs mois, avant d'abandonner la mare où ils sont nés.

Kammerer intervertit les conditions ordinaires du milieu où vivent ces deux espèces. Il élève *Salamandra atra* à température élevée, dans un lieu humide. Il met un bassin rempli d'eau à sa disposition. Dans ces conditions, le développement est activé, la ponte est plus précoce, les petits sont plus nombreux : 5 et même 9. Ils naissent à un état embryonnaire peu avancé : ils sont pourvus de branchies et mènent la vie aquatique, en attendant que leur développement soit achevé.

Réciproquement *Salamandra maculosa* élevée dans un lieu froid et sec, sans eau à sa portée, donne des petits peu nombreux (7 à 2). Ceux-ci naissent dans un stade avancé de leur développement embryogénique, *sans branchies.*

Kammerer a fait une autre observation capitale : il a constaté que les petits précoces d'*atra*, une fois parvenus à l'état adulte, manifestaient une tendance à transmettre leurs caractères acquis à leurs descendants, *même quand ils étaient soustraits aux conditions qui avaient chez eux produit la variation.*

Cette dernière circonstance a une importance particulière ; c'est d'elle en effet que dépend la preuve de l'hérédité des caractères acquis. Or, des *Salamandra atra* aberrantes obtenues comme il a été expliqué plus haut ont donné parfois, *dans des conditions semblables à celles où elles vivent habituellement*, 5 petits munis de branchies. Les résultats furent un peu moins nets pour *maculosa.*

Plus décisives encore sont les expériences de Tower. Elles ont porté sur un Coléoptère, le *Leptinotarsa decemlineata*. Dans la nature, les individus présentant une mutation sont rares. On en trouve 1 environ sur 6.000 normaux. Ces derniers portent 5 bandes longitudinales parallèles, sur chacun des élytres. Le thorax est ponctué.

Tower prend des *Leptinotarsa decemlineata* et les soumet à l'action d'une température élevée (35°) dans un milieu sec à basse pression. Il reconnaît d'abord qu'il existe une *période sensible* pendant laquelle doivent agir les forces perturbatrices extérieures pour amener des mutations : c'est le moment de la formation, et de la maturation des produits sexuels.

Ayant donc exécuté ses expériences en temps opportun, Tower obtient un certain nombre d'œufs qu'il élève dans les *conditions normales*. Sur 98 individus arrivés à l'état adulte, il trouve :

82 du type *pallida*,
2 du type *immaculothorax*,
et 4 seulement qui ont le type normal.

Dans une autre expérience à température élevée, mais dans une atmosphère humide, il trouve 90 normaux ; 23 *mélanicum*, 1 *tortuosa*.

La proportion des mutants, comparée à ce qui existe dans les conditions naturelles, est donc énorme.

Il n'est pas douteux que la déviation soit due aux agents physiques perturbateurs. Ceci, M. Cuénot, bien que défenseur de la théorie des mutations, le reconnaît sans hésitation : « Il n'est pas douteux, dit-il, qu'il y ait une relation de cause à effet entre le changement des conditions de milieu et l'apparition des mutations [1]. »

« En somme, ajoute-t-il plus loin, pour qu'il y ait quelque chance d'obtenir des mutations, il faut un changement profond des conditions de milieu [2]. »

1. Cuénot, *la Genèse des espèces*, p. 169.
2. *Ibid.*, 169. M. Cuénot écrit même dans une autre partie de son livre. « Il y a... d'autres (localités) où les mutants apparaissent. S'ils augmentent de nombre, *par stimulus externe* qui les a produits, ils peuvent remplacer la souche par substitution... », pp. 410-411.

Les facteurs externes sont donc la cause ultime à laquelle il faut toujours invariablement revenir.

Qu'est-ce donc qui distingue les transformistes ancien style des mutationistes ?

Les premiers affirment l'hérédité des caractères acquis que les mutationistes nient.

Dans l'expérience de Tower, qui vient d'être rapportée, on ne peut dire qu'il y ait transmission d'un caractère acquis, puisque le *Leptinotarsa* adulte sur lequel on fait porter la variation de milieu, qu'on place dans une atmosphère sèche à 35°, ne présente aucune variation lui-même, tandis que ses descendants présentent des caractères nouveaux.

Les anciens transformistes avaient eu le tort de négliger le terme intermédiaire nécessaire, le mécanisme obligé de toute transformation : *les facteurs internes*. Après une lente ou brève modification du matériel germinatif (bien mise en évidence par la découverte de la *période sensible)* se produit soudain une mutation. Cette mutation peut être d'une tout autre nature que l'effet produit sur l'organisme générateur par l'agent qui a provoqué la mutation — il peut aussi être du même ordre. — Il n'y a aucune liaison monogène entre celui-ci et l'effet, attendu qu'il n'y a aucune spécificité des facteurs déterminant une mutation. L'humidité et la chaleur peuvent provoquer des effets semblables. Ces effets sont même extrêmement peu variés, consistant, par exemple, seulement dans le mélanisme ou l'éclaircissement.

L'être vivant apparaît avant tout comme un système chimique défini, sur lequel les agents physiques et chimiques agissent comme des catalyseurs : ils favorisent les réactions spontanées plutôt qu'ils n'en déterminent de nouvelles.

En résumé :

1° Les mutations constituent bien le procédé le plus fréquent de formation des espèces nouvelles ;

2e Ces mutations, préparées de longue date, à l'intérieur de l'organisme des ascendants, peuvent apparaître brusquement sans cause actuelle apparente ;

3° Les causes actuelles, qui occasionnent fréquemment la manifestation d'une mutation, ne jouent le rôle que de révélateurs d'un état existant déjà dans l'organisme, ou d'un ressort qui déclenche un appareil préparé. Elles peuvent encore servir simplement à opérer un triage parmi des individus hétérogènes ;

4° L'entraînement, l'éducation, la sélection, les expériences ne servent qu'à opérer ce triage ;

5° La distinction entre mutations et fluctuations n'est pas absolue. Les agents extérieurs ne sont pas étrangers à la préparation lente des mutations, à l'édification progressive des formations instables qui, se rompant un jour et réalisant brusquement d'autres états d'équilibre, donnent en somme des espèces nouvelles.

C'est à eux sans doute qu'il faut toujours revenir ;

6° Seulement, leur action, pour être efficace, doit porter non pas sur le soma seulement, mais sur les produits génitaux. Il faut qu'elle atteigne ceux-ci.

Il y a des périodes, au cours du développement de l'individu, où les éléments sexuels sont particulièrement accessibles à l'action de facteurs externes. Il y a des *stades sensibles*.

Ceux-ci, comme les expériences de Tower l'ont montré, se rencontrent aux époques de la formation et de la maturation des éléments génitaux ;

7° Les mutations auxquelles aboutit finalement l'action, prolongée pendant de multiples générations, de certains

facteurs du milieu extérieur, peuvent se présenter avec un aspect absolument différent de celui que produisent directement ces mêmes facteurs sur le soma d'un individu au cours de sa vie. Autrement dit, les caractères du mutant peuvent être très différents de celui du fluctuant, alors même que la mutation et la fluctuation ont été produites par la même force cosmique.

La théorie Lamarckienne des modifications produites par l'usage ou le non-usage des organes, modifications transmises ensuite héréditairement, est combattue avec vigueur par M. Cuénot.

« Beaucoup d'organes, dit-il, s'atrophient par suite d'une mutation germinale, sans qu'il soit possible de voir la cause efficiente dans l'inaction », et il cite « les Chiens et Chats à queue rudimentaire, les races de Bœufs et Chèvres sans cornes, les Poules à cou dénudé dont les plumes ne poussent plus, les Poules sans crête ou sans croupion... les Insectes aveugles vivant au moins à la demi-lumière ». « On conçoit mal, ajoute-t-il, en rappelant l'exemple du *Seps*, (ce Lézard aux pattes atrophiées), on conçoit mal un Lézard muni de pattes, qui cesse de s'en servir. » « Enfin, pourquoi tant d'organes vestigiaires persistent-ils à l'état de rudiments inutilisables, voir gênants (appendice cœcal, châtaignes et ergots des Chevaux) ? »

L'interprétation que les mutationistes proposent des progrès obtenus chez une espèce par la culture, par l'entraînement, par l'exercice, est des plus intéressantes.

L'exercice n'améliore pas la race. Il sert seulement de moyen pour déceler les mutants qui présentent une aptitude, c'est-à-dire une organisation particulière, et pour séparer des autres les mutants ou les oscillants. « Toute l'histoire du progrès continu des chevaux de course et des trotteurs,

par exemple, démontre que ce n'est pas l'accumulation des effets de l'entraînement, mais bien le choix comme reproducteurs des animaux présentant une aptitude congénitale pour la vitesse, qui a déterminé le progrès ; l'entraînement ne donne rien de bon s'il n'y a pas aptitude. »

Dans les races humaines comme chez les animaux, l'éducation n'engendre aucun progrès. Elle n'a de valeur que pour l'individu. Elle lui fournit des connaissances, des habitudes commodes, de l'expérience. Mais cette expérience individuelle n'est pas transmissible biologiquement, par hérédité, aux générations suivantes. Celles-ci doivent réapprendre ce qu'avaient appris leurs ancêtres.

Les différenciations occasionnées dans un organe par l'exercice, par la culture, ne retentiraient pas sur le plasma sexuel. Les virtualités de chaque race humaine auraient ainsi des limites infranchissables ; elles seraient fixées, bornées.

Pourtant il ne faut pas oublier qu'il n'y a pas de race pure dans la nature ; que la race, comme l'espèce, est une construction artificielle ; qu'un groupe humain ou animal, si homogène qu'il paraisse d'abord, n'est qu'un mélange inextricable de patrimoines héréditaires divers.,

Ne le voit-on pas, d'ailleurs, à la façon d'agir, de penser, de sentir, si différentes, des hommes d'une même nation, souvent même des membres d'une même famille ?

La distribution des animaux et la Paléozoologie. — Les individus dont l'ensemble constitue une espèce, occupent à chaque époque une aire plus ou moins étendue. Plusieurs circonstances concourent à définir la zone habitée par eux : conditions climatériques et présence de certains aliments végétaux ou animaux, salure, continuité ou dis-

continuité territoriale, etc. Ainsi, le Grand Paon de Nuit *(Saturnia pyri)* habite l'Afrique du Nord et tout le sud de l'Europe, mais les conditions climatériques l'empêchent de remonter au nord de la chaîne des Alpes, et, en France, d'atteindre la Bretagne, la Normandie et les provinces de l'Est. *Colias palæno*, autre Papillon, occupe, au contraire, toute la Russie du Nord et la péninsule scandinave ; on le trouve également sur les crêtes montagneuses et froides de l'Allemagne (Forêt Noire, Thuringerwald, Hartz, Erzgebirge), de la Suisse, sur les Alpes franco-italiennes et même dans les Pyrénées.

Le Tigre, au contraire, se rencontre partout où il y a des forêts épaisses et des Herbivores. Il remonte dans le Nord jusqu'en Transbaïkalie, en Sibérie. Il craint moins le froid que la faim.

Parfois, on peut suivre à la trace la marche en avant d'une espèce, comme le Chrysomèle, *Leptinotarsa decemlineata*, parasite des Solanées, qui suivit d'abord le *Solanaum rostratum* dans sa migration à travers le Texas, l'Arizona et jusqu'à la frontière canadienne ; puis, plus tard, entre 1850 et 1860, s'étant adapté à la Pomme de terre *(Solanum tuberosum)* qui venait d'être introduite à l'est de son aire de dispersion, gagna toute la région Est des Etats-Unis, où cette plante était cultivée.

La distribution géographique actuelle des êtres vivants est encore déterminée par leur répartition ancienne, leur habitat aux époques géologiques précédentes, proches ou reculées.

Aux âges lointains, où les premiers représentants d'une espèce nouvelle apparurent sur la terre, celle-ci n'avait pas la même configuration qu'aujourd'hui. Nés sans doute en un point particulier du globe, par la rencontre fortuite de quel-

ques circonstances favorables, ils se répandirent, par migrations successives, à travers les anciens continents et finirent par atteindre des parages très éloignés du berceau de leur race. Tel est le Mammouth laineux *(Elephas primigenius)*, qui, parti de la région de l'Obi ou de la province de l'Amour, traversa toute la Sibérie, descendit l'Europe et ne s'arrêta qu'au bord des mers occidentales. D'autres caravanes, franchissant l'isthme qui coupait au début du quaternaire le détroit de Behring, atteignirent l'Alaska et se répandirent dans l'Amérique du Nord.

A la Paléographie, le Biologiste demandera donc des indications, pour expliquer les faunes et la répartition des espèces. Inversement, il fournira à celle-ci, grâce aux document qu'il a en main, bien des renseignements précieux.

Un autre ensemble très important de causes s'ajoute encore aux conditions physiques actuelles et aux vicissitudes historiques pour fixer les limites d'un groupe zoologique. Ce sont les relations qui unissent les uns aux autres les divers animaux qui hantent les mêmes contrées. Tel oiseau, comme le Pic, se nourrit d'insectes arboricoles et peut faire disparaître d'une région où elles vivaient une ou plusieurs familles.

Un parasite, comme le *Bacterium pestis Astaci*, a éliminé l'Ecrevisse de beaucoup de ruisseaux et des rivières où elle prospérait, et risque de la faire disparaître complètement de l'Europe.

A la Jamaïque, la Mangouste de l'Inde, introduite un peu imprudemment, a exterminé une foule d'espèces locales, tels que les Rats, le *Copromys*, le Pétrel.

L'Huître portugaise fait régresser partout où elle s'implante l'Huître de Marennes (*Ostrea edulis*).

Inversement, la suppression d'un prédateur au sein d'une faune produit des dérangements inattendus. Une Cochenille

d'Australie, l'*Icerya Purchasi*, fut introduite, avec des marchandises sans doute, dans plusieurs pays, en particulier dans l'Amérique et dans la région méditerranéenne. Cette Cochenille, qui vit sur les Orangers et les Citronniers, pullula à tel point qu'elle occasionna de grands ravages dans les plantations. C'est seulement lorsqu'on eut l'idée de faire venir son ennemi australien, une Coccinelle, la *Novius cardinalis*, qu'on vit se réduire son développement dans d'énormes proportions. Aujourd'hui, l'*Icerya* ne cause plus que très peu de dommages.

Il s'établit, on le voit, une sorte d'*équilibre* entre les divers composants d'une faune régionale, un équilibre non pas statique, figé, mais un équilibre mobile, comme disent les chimistes, qui est atteint quand la destruction des représentants de chaque genre est exactement compensée par leur multiplication. Cet équilibre est très délicat, très instable ; et une perturbation minime peut le détruire.

Les sociétés humaines, elles aussi, sont dans un état d'équilibre dynamique. Les dérangements profonds causés dans une faune harmonique par l'introduction d'un nouvel arrivant doivent faire réfléchir les sociologues et leur offrir un enseignement. L'introduction des races nouvelles telles que les Chinois, les Nègres en Europe ou en Amérique peut avoir des conséquences extrêmement graves, tant économiques que biologiques.

De nombreuses espèces, après avoir prospéré durant des époques sur un continent, se sont éteintes. Bien des causes peuvent mener à ce résultat. Ce sont d'abord et avant tout les maladies, les maladies contagieuses principalement, qui déciment en peu d'années d'immenses troupeaux. Ce sont aussi les ennemis directs, qui s'attaquent surtout aux œufs, aux formes larvaires, aux jeunes, et menacent ainsi l'espèce.

Enfin, ce sont les variations passagères ou des changements définitifs des conditions climatériques : hivers prolongés, sécheresse persistante qui détruit la végétation, extension de l'écorce de glace couvrant la terre au voisinage des pôles. Le Mammouth, privé à l'époque glaciaire de la nourriture qu'il trouvait en abondance dans les plaines de l'Europe septentrionale, finit par s'éteindre, tué par la faim bien plus que par le froid.

Il semble que la faim soit, avec les maladies contagieuses, la cause la plus importante de la disparition des espèces. L'homme lui-même connut en Europe le fléau de la famine presque jusqu'à nos jours, et il n'est pas sûr qu'il ne le connaisse jamais plus. Au moyen Age, vers l'époque de Philippe-Auguste, il y avait en Europe une année de famine sur quatre, et des centaines de milliers d'hommes mouraient de faim et de misère.

Dans la Nature, la concurrence que se font les espèces, et par laquelle plusieurs d'entre elles sont finalement éliminées, porte surtout sur la nourriture. Une forme nouvelle arrivée affame, — en détruisant par exemple les jeunes plantes, — d'autres espèces. Celles-ci disparaissaient alors de la surface de la Terre ; ou bien elles se retirent dans des habitats peu accessibles ou peu recherchés à cause des pénibles conditions de vie qu'ils offrent : déserts, plateaux élevés et cimes glacées, abîmes de la mer, cavernes ténébreuses. Avec les Iles, où les animaux anciens sont soustraits à la concurrence des nouvelles espèces, ces places constituent des Réserves, où sont conservés comme en des Jardins Zoologiques naturels les ultimes survivants d'une faune périmée.

Tels sont les Monotrèmes et les Marsupiaux d'Australie, les Lémuriens et les Diornis de Madagascar, les Tortues

géantes des Galapos, les Girafes et surtout l'Okapi du centre de l'Afrique.

Chose singulière, il semble que les espèces gigantesques soient particulièrement menacées. Au crépuscule de l'Ère secondaire, ce sont les monstrueux Sauriens : *Diplodocus*, *Brontosaurus*, les Stégocéphales *Mastodonsaurus*... qui meurent ; à la fin du Tertiaire, les grands Oiseaux comme l'Æpiornis ; au quaternaire, le Mammouth. Actuellement l'Eléphant, l'Hippopotame et la Girafe, la Baleine, l'Autruche s'acheminent lentement vers la nécropole immense des espèces fossiles. On dirait que, cibles immenses, ces colossales masses vivantes sont plus aisément frappées par leurs mystérieux ennemis. Leur taille et leur force ne leur servent de rien. Faut-il voir la cause de cette fragilité spécifique dans la lenteur du développement de pareils êtres ? — les formes jeunes, avant d'avoir atteint l'état adulte, sont sensibles et délicates. — Faut-il rechercher cette cause dans l'abondance de la nourriture nécessaire à leur existence, dans l'isolement obligé où ils doivent vivre, ou bien les maladies et les parasites s'installent-ils plus aisément dans d'aussi vastes organismes ?

Les Milieux et les Faunes. — Lorsque l'on descend au fond de la mer, la lumière diminue rapidement à mesure qu'on s'éloigne de la surface. A une centaine de mètres environ, l'obscurité est à peu près complète. Aucune végétation ne peut se développer. Les naturalistes ont cru longtemps que le fond des mers devait être inhabité. Les premières explorations sous-marines, tentées dans la Méditerranée parurent confirmer cette vue de l'esprit. Bientôt cependant de nouveaux dragages, pratiqués cette fois dans l'Atlantique, révélèrent l'existence de toute une population

d'animaux appartenant à des groupes zoologiques variés, qui, par l'étrangeté de leurs formes, la singularité de leurs organes, les phénomènes inattendus qu'ils produisaient, excitèrent vivement la curiosité et l'intérêt des biologistes. C'étaient des Crustacés aveugles pourvus d'antennes démesurées, et de pattes géantes. Ils erraient dans les ténèbres en tâtant leur route avec précaution. On ramena aussi des Holothuries phosphorescentes, puis, à la stupéfaction de tous, ce furent des Poissons porteurs de lanternes, des Céphalopodes munis de fanaux à lumière rouge, verte, bleue, violette..., qu'ils pouvaient à volonté éteindre et rallumer. Autour d'eux, comme des courtisans autour d'un roi, gravitaient une foule d'êtres moins bien pourvus, vivant des miettes de leur table, attentifs à l'aubaine qui choit.

Et peu à peu, on se forma une autre idée de la vie au fond des mers. On comprit que, partout, la vie avait pénétré, et que l'épaisseur formidable de la masse liquide des Océans était saturée d'animaux. On découvrit des faunes superposées, strates vivantes, s'étageant depuis le fond des abîmes jusqu'à la surface où courent les vagues.

Tout au fond, émergeant de la vase, voici le Benthos abyssal, la faune des êtres fixés au sol ou rampant à sa surface. Ils se nourrissent de boue où pullulent les Bactéries, et guettent les débris cadavériques des êtres de lumière, qui lentement, comme la neige, tombent sans cesse de la surface de l'Océan. Il y a là des Etoiles de Mer, des Oursins, des Gorgones, des Euphausides comme *Nematoscelis rostrata*, des Crabes, des Annélides.

Autour d'eux s'agitent des Poissons et des Céphalopodes. La phosphorescente clarté que répandent ces galets et ces arbustes vivants baigne les manteaux noirs, rouges ou pourpres. Au loin, comme un météore, un *Stomias* tout

couvert de lumière glisse dans l'obscurité. Tout le long de ses flancs, une double rangée de perles de feu étincelle. Plus loin ce sont des *Malacosteus* aux fanaux bleus et verts, des *Halosauropsis macrochir* qui peuvent éteindre leur lanterne sourde, des *Gigantactis Vanhoffeni* qui portent leur phare au bout d'un très long nez, ou bien le *Thaumatolampas*, le Flambeau Merveilleux, la Pieuvre féerique aux 26 feux rouges et bleus.

Et la Mer, génératrice de tous les êtres, renferme dans l'épaisseur de ses flancs bien d'autres organismes encore : ce sont les Pélagiques. Etres étranges qui flottent à la surface, poussés par le vent, entraînés par les courants, ou bien nagent avec agilité à travers les couches liquides, et parcourent en quelques jours d'immenses espaces.

Ce sont des Méduses transparentes, cloches de cristal qui battent rythmiquement comme des cœurs ; des Ceintures de Vénus, longs rubans qui ondulent ; des Physalies ; des Pleurobranchia ; des Chevelures de Bérénice *(Berenix carisochroma)* ; des Nautiles à la carène élégante ; des Noctiluques qui rendent les flots phosphorescents. Ce sont aussi des Poissons singuliers, tout en gueule, comme l'*Eurypharynx pelecanoïdes* ou le *Stylophthalmus* qui porte ses yeux au bout de longs pédoncules.

Toute cette population étrange soulève pour le Biologiste de passionnants problèmes. Si l'absence de lumière fait dégénérer les organes de la vision, et explique les formes aveugles des Abîmes, pourquoi trouve-t-on dans les grandes profondeurs tant de Poissons pourvus d'yeux énormes et parfaits ? Ceux-ci sont-ils des nouveaux venus, des immigrants mal adaptés encore à leur ténébreux séjour, ou bien leur larves errantes, après l'éclosion des œufs, remontent-elles vers la surface des eaux, où les yeux, à chaque généra-

tion, se développent sous l'excitation de la lumière ? Il arrive, en effet, que, chez certaines espèces, — par exemple le *Calocaris Mac Andreæ*, — l'œil, bien développé chez la larve, entre en régression chez l'adulte. Mais les faits connus demeurent encore incohérents. Quelle est l'origine de ces organes lumineux, constitués par l'assemblage d'un tissu photogène, de plusieurs réflecteurs et de deux lentilles disposées à angle droit, qui dirigent et concentrent la lumière émise dans des directions perpendiculaires ? La production de lumière est un phénomène assez fréquent chez les animaux et les végétaux. Le Ver luisant brille dans les nuits d'été sur les talus des chemins ; les Lucioles et les Pyrophores tracent dans l'air de la nuit des courbes de feu. Parmi les animaux aquatiques, on trouve des Méduses, des Pholades, l'Elédone, l'Hippodium, des Copépodes pélagiques, qui sont lumineux. Quelques-uns de ces porteurs de flambeaux descendus dans la nuit des grands fonds s'y sont-ils trouvés à l'aise et ont-ils adopté ce séjour ? C'est possible.

C'est un problème connexe que pose au biologiste la faune des eaux douces ou saumâtres et celle des eaux sursalées. Ce sont parfois les mêmes espèces que l'on rencontre dans les unes et dans les autres. Les Syngnathus, les Crabes communs, les Muges supportent l'eau douce aussi bien que l'eau sursalée. *Artemia salina*, l'Annelide *Nereis diversicolor*, l'Amphipode *Corophium longicorne* vivent dans l'eau saumâtre et dans l'eau contenant le sel à saturation. Les Anguilles et le Saumon passent, à certaines époques, des fleuves dans la mer et réciproquement. On est ainsi conduit à penser que ce sont les espèces peu sensibles aux variations de salure, les espèces euryhalines, comme disent les Naturalistes, qui, sorties de la mer, sont venues peu à peu peupler les estuaires, es m ers saumâtres et les lacs salés. Leur constitution leur

permettait ces écarts ; bien plus, combinée avec la concurrence vitale, elle les prédestinait à émigrer et à venir occuper ces contrées libres.

Il y aurait donc une préadaptation des organismes à leur habitat nouveau ; soit que cette préadaptation soit due à des variations survenues fortuitement, soit qu'elle se rattache à des propriétés biologiques résultant de la constitution et des particularités chimiques, physiques, ou morphologiques de l'espèce (résistance à la chaleur ou au froid, à la salure, aux acides). Les caractères de préadaptation ne sont d'ailleurs pas toujours utilisés effectivement. On trouve, vivant encore, dans la mer, des animaux ayant les « caractéristiques de la forme d'eau douce » et qui pourraient sans doute s'établir dans les fleuves et les lacs.

L'Origine des Espèces. — Tous ces êtres vivants, que la nature répand et prodigue dans les mers et sur les continents, poussière animée, d'une variété infinie, tous ces phénomènes biologiques qui paraissent merveilleux quand ils laissent voir une harmonie entre l'animal et le milieu, — mais qui bien souvent aussi présentent des désharmonies — ne piquent pas seulement la curiosité du naturaliste ; ils éveillent en lui des pensées, suscitent en son esprit des interrogations. Quelle est l'origine de la vie sur le globe terrestre ? Comment sont nées les espèces que nous voyons aujourd'hui si nombreuses ? Comment se sont éteintes celles dont nous trouvons les ossements ou les coquilles en fouillant les couches du sol ? Quel est le mécanisme des adaptations de l'être au milieu ? Questions passionnantes qui donnent aux recherches techniques leur intérêt, et soutiennent le courage du naturaliste pendant sa marche pénible à travers la lande infinie des détails.

Bien des hypothèses ont été édifiées pour répondre à ces questions. Solutions hâtives, fondées sur des données insuffisantes qu'il faut réviser, ou réponses dépourvues de sens, simple assemblage de mots comme « la création surnaturelle ». Car surnaturel signifie hors de la Nature, indépendant de ses mécanismes. Mais il n'y a rien en dehors de la nature. Tout ce qui est est naturel, et la pensée elle-même est incapable de concevoir aucune signification attribuable au mot surnaturel.

Quelle est l'origine de la vie ? A cette question il n'y a qu'une réponse : nous l'ignorons. Il en est d'ailleurs ainsi de toutes les questions d'origine : origine du langage, origine de l'homme, origine du monde. Ces questions n'ont peut-être pas de sens, je veux dire par là qu'elles sont sans doute mal posées.

En ce qui concerne l'origine de la vie, on sait depuis longtemps que la faune de l'époque dite Paléozoïque ne représente pas du tout les êtres terrestres primitifs. Les couches sédimentaires, qui forment la base des terrains Primaires et qui renferment les plus anciens fossiles connus, ont été précédées, avant leur formation, par le dépôt d'une énorme quantité d'autres strates de sédiments fossilifères (faune archéozoïque inconnue). Ces strates, refoulées en profondeur par les plissements ultérieurs de l'écorce terrestre, ont été détruites, fondues, puis réinjectées à l'état de granites à travers les empilements sédimentaires plus récents. Tous les documents enfermés dans ces couches, toute la faune archéozoïque, qui s'étend sans doute sur une période beaucoup plus longue que la série géologique connue, ont été à jamais détruits. « L'ère primaire est la fin d'un monde ». Le géologue Munier-Chalmas aimait à répéter cette formule. Il se plaisait à montrer à ceux qui l'écoutaient l'état

d'évolution déjà très avancé des formes animales que l'on trouve dès le Cambrien et le Silurien, organismes déjà très complexes, parvenus à un état d'équilibre stable, révélant un long passé et une immense série d'ancêtres derrière eux.

Les espèces n'ont pas toujours été aussi abondantes qu'aujourd'hui. Au cours des temps, les anciens groupes ont essaimé, envoyant par le monde des espèces nouvelles. Comment ces dernières se sont-elles façonnées ? Nous pouvons le savoir, car il s'en forme encore aujourd'hui sous nos yeux. Le mode capital, c'est la ségrégation géographique des représentants d'un même groupe. D'autres mécanismes peuvent également donner le même résultat : la scission éthologique due à des différences de comportement ; la séparation physiologique avec ses très nombreuses variétés.

L'isolement géographique d'un certain nombre d'individus appartenant à un ensemble jusque-là homogène peut survenir de beaucoup de façons : une île se forme par le détachement d'un lambeau de continent, ou par la transgression d'une mer envahissant des terres basses. L'Angleterre s'est ainsi séparée au Quaternaire du continent européen. Ailleurs, une chaîne de montagnes s'érige entre deux mers. Un fleuve à lui seul peut constituer, pour des animaux terrestres, un obstacle suffisant pour diviser leur aire de répartition en deux zones. Au milieu du canal de Suez, les aires sursalées des lacs amers empêchent le mélange des faunes de la Mer Rouge et de la Méditerranée. Depuis trente ans, 8 espèces de Poissons seulement ont réussi à passer de l'une à l'autre de ces mers.

A la fin du Miocène, l'Isthme de Panama a coupé la communication qui existait entre l'Ocean Atlantique et le

Pacifique. Des deux côtés de l'Isthme, on trouve des espèces très voisines, qui se correspondent, et qui, bien qu'un peu différentes, peuvent être rapprochées par paires.

Plus différentes sont les faunes terrestres de l'Eurasie et de l'Amérique du Nord qui ont commencé à diverger depuis la séparation de ces deux continents.

Pourtant beaucoup d'espèces se correspondent encore deux à deux. Le *Castor fiber* d'Europe et le *Castor canadensis* sont issus des mêmes ancêtres.

Le rameau, une fois isolé de la souche, commence à évoluer, soit sous l'action des conditions différentes du milieu, soit à la suite de mutations accidentelles. Pour les mêmes raisons, le groupe originel, de son côté, se transforme suivant un autre mode ; et comme il n'y a plus de croisement entre eux, les deux ensembles ne s'homogénéisent pas.

La ségrégation physiologique a pour cause une différence dans le comportement ou dans les mœurs. On peut la rattacher à la précédente, car elle conduit généralement à une différence d'habitat. Ainsi, certaines Annélides mènent la vie libre, et d'autres, de la même espèce, vivent en parasites. Il n'est pas douteux que, chez les Parasites, la multiplicité des hôtes adoptés — quand elle est possible — doive avoir pour résultat une pulvérisation de l'espèce. Le plus bel exemple que l'on puisse citer est celui du *Lecanium robiniarum*, qui vit sur le Robinier pseudo-acacia. Apparue vers 1879, cette espèce nouvelle fut classée comme une espèce distincte par les plus illustres entomologistes de l'époque, jusqu'au jour où M. Marchal montra expérimentalement qu'elle dérive du *Lecanium corni* par un simple changement d'hôte. En élevant sur un Robinier des larves de *Lecanium corni* et en les laissant se nourrir et se développer sur cet arbre, il obtint le véritable *Lecanium robiniarum*.

Quant aux séparations physiologiques, elles peuvent tenir à des causes très hétérogènes : tantôt les individus constituent un certain nombre de variétés, qui, bien que donnant des descendants indéfiniment féconds entre eux, ne se fréquentent pas à cause de leurs mœurs différentes, ou même s'évitent ou s'attaquent à cause de haines de races — isolement psychique — ; tantôt la séparation est occasionnée par le défaut de synchronisme de la maturité des produits génitaux, — comme, dans certaines parties de l'Allemagne, la Grenouille verte normale *Rana esculenta* et la forme *ridibunda*, — comme aussi certains Poissons (Corrégones) ; — tantôt enfin il s'agit de variations des organes génitaux. La séparation devient absolue quand il y a infertilité immédiate ou lointaine entre les deux groupes.

En somme, pour qu'il y ait formation d'espèces nouvelles, deux conditions sont nécessaires. Il faut :

1° qu'il y ait isolement, de nature quelconque, amenant l'amixie, c'est-à-dire empêchant le croisement des deux groupes ; et

2° qu'il y ait mutation, que cette mutation soit due à des causes accidentelles ou systématiques.

Ces deux conditions, qui affectent de nombreuses modalités, peuvent se succéder dans un ordre quelconque ou être simultanées.

Le mécanisme des adaptations. — Entre un animal et les objets ou les circonstances parmi lesquels il mène son existence, il y a parfois des rapports singuliers, et comme une harmonie. Un Poisson aura exactement la couleur du fond de sable sur lequel il vit aplati, un Insecte présentera rigoureusement la couleur des feuilles ou de l'écorce sur lesquels il demeure ; bien plus, il offrira la forme extérieure

de cette feuille ou celle d'une brindille de bois et en montrera d'une façon frappante les détails (homochromie et mimétisme). D'autres animaux, comme les Taupes, les Courtilières, qui vivent dans des galeries creusées au sein de la terre, ont les membres antérieurs rejetés de côté, larges et solides comme des pelles, taillés comme à dessein pour fouir. Enfin les animaux des cavernes obscures n'ont très souvent pas d'yeux, mais des appendices tactiles très longs et très délicats ; d'autres, comme certains Abyssaux, seront pourvus d'organes lumineux.

Quelle est la cause de ces adaptations ?

Trois explications jusqu'ici avaient été fournies.

Les agents physiques, chimiques, le milieu en un mot, pétrit les organismes comme un sculpteur la glaise. La matière vivante est plastique ; elle se moule sur les conditions qui lui sont offertes. C'est la première théorie : la théorie du modelage par les agents extérieurs.

Le besoin provoque l'essai et conduit à l'usage. L'usage développe et façonne l'organe. Quand le besoin disparaît, l'usage cesse ; le non-usage amène l'atrophie de l'organe. Telle est l'explication lamarckienne.

Les individus qui présentent la meilleure adaptation aux conditions qui leur sont imposées sont ceux qui ont le plus de chances de survivre et de se reproduire. Les autres sont plus fréquemment éliminés. La sélection naturelle opère le triage des formes les mieux adaptées. C'est l'explication de Darwin.

Toutes ces explications comportent, explicitement ou implicitement énoncé, un complément : il y *a transmission des caractères acquis par l'individu.* Par là il faut entendre des caractères acquis par les organes de son corps, par son *soma.*

Depuis peu une quatrième explication est mise en avant. Elle est soutenue avec beaucoup de force et de talent, en France, par M. Cuénot ; à l'étranger par Davenport et Morgan. C'est la doctrine de la préadaptation.

L'animal n'est pas modelé par le milieu, l'espèce ne passe pas au laminoir de la sélection naturelle. Non. Avant de pénétrer dans un milieu nouveau, le survenant possède d'*avance* les caractères qui le mettent en harmonie avec ce milieu ; son organisme est en quelque sorte préadapté, et c'est précisément parce qu'il présente ces caractères, cette préadaptation, qu'il y pénètre. Les conditions posées par un milieu nouveau forment, pour ainsi dire, un tamis ou un filtre. Seules les espèces pourvues des adaptations nécessaires passeront à travers les mailles de ce tamis ou les pores de ce filtre, qui arrêtent, en les frappant de mort, les espèces ne les possédant pas.

Et ceci s'applique tout particulièrement au peuplement des places vides dans la nature : conduites d'eau nouvellement installées, cavernes ouvertes depuis peu, caves, déchets d'usine amoncelés, îles volcaniques, eaux thermales, sulfureuses, alcalines, acides, abîmes des mers après le creusement de celles-ci. « Une adaptation suffisante est nécessairement antérieure à l'installation dans la place vide », dit M. Cuénot. Je ferai une comparaison empruntée à la vie sociale — peut-être le mécanisme est-il le même. — Supposez qu'on crée, dans une ville quelconque, un poste nouveau pour une fonction nouvelle. On vient, par exemple, d'installer un laboratoire d'analyse, pour la recherche des falsifications alimentaires ; ou bien encore on vient de fonder un hôpital d'aliénés. Qui va-t-on mettre à la tête ? Un homme qui, par ses connaissances antérieures, par ses travaux, par la nature de ses recherches, est prêt à occuper

cette place, à tenir le rôle qui lui est dévolu, autrement dit qui est préadapté [1]. Ce sera un chimiste dans le premier cas, un médecin aliéniste dans le second.

De même chacun de nous choisit, quand les circonstances lui sont favorables, une profession répondant à ses aptitudes. Ce n'est pas la profession qui crée les aptitudes, ce sont les aptitudes qui font qu'on choisit la profession.

Mais n'y a-t-il pas aussi une réaction de la profession sur les aptitudes ?

Revenons à la Biologie. N'y a-t-il pas réaction du milieu sur l'être et sur la race ? C'est indéniable. M. Cuénot n'a peut-être pas assez insisté sur ce point. Mais comme cette action est fort connue, comme c'est elle toujours qu'on met en évidence, c'est sans doute volontairement, pour mieux attirer l'attention sur l'autre point de vue, que M. Cuénot l'a laissée dans la pénombre. Toutefois, n'est-ce pas aller trop loin de déclarer qu' « il n'y a pas de lien causal entre l'adaptation suffisante à un milieu et les conditions de ce milieu ». Il faudrait, pour le moins, distinguer parmi les cas.

D'ailleurs il semble bien que la notion de *prédétermination* est beaucoup plus large, plus compréhensive, dans la pensée de M. Cuénot, que ce mot ne semble le faire entendre. Ce mot, pas très heureux, produira bien des méprises et vaudra bien des attaques à l'auteur.

Voici, par exemple, une Epinoche, qui peuple les mares salées de la Lorraine. Est-elle préadaptée à la vie dans l'eau salée ? Pas du tout. C'est son euryhalinité, dit M. Cuénot, qui lui a permis de vivre dans ces étangs. Et la preuve qu'elle n'est pas préadaptée à l'eau salée, c'est qu'elle vit

1. Dans les sociétés humaines, la Politique vient parfois vicier ce principe. Elle apporte une complication nouvelle que la Nature ne connaît pas.

aussi bien dans l'eau douce. Elle vit encore dans l'eau glycérinée et même dans une solution de sucre à 10 p. 100. Dira-t-on qu'elle est préadaptée à l'eau salée, préadaptée à l'eau douce, à l'eau glycérinée, à l'eau sucrée ?

De même une espèce polyphage, comme le Sphynx tête-de-mort, l'*Acherontia atropos*, vit en Algérie sur l'Olivier, en Europe sur le Lilas et le Jasmin, ailleurs sur l'Alkékenge, la Pomme de terre, le Tabac. Dire que l'Achérontia est préadaptée à toutes ces plantes, c'est vraiment, par un mot mal choisi, offrir, à toutes les confusions, à toutes les discussions qui portent à faux, une occasion bien favorable. C'est *indétermination* qu'il faut dire, ou *indifférence biologique*, ou *souplesse physiologique*. Voici alors la théorie qui s'éclaire ; c'est parce que cette espèce est eurytherme, c'est-à-dire indifférente, dans de larges limites, à la température, qu'elle va pouvoir habiter les eaux chaudes, et former un des représentants ordinaires de la faune des sources thermales. Il n'y a nulle préadaptation à cela chez elle, il y a seulement indifférence biologique.

Cette expression malheureuse nuit beaucoup à la théorie de M. Cuénot. C'est sur la foi de ce mot qu'on lui adresse le reproche de téléologisme. Sa théorie est en réalité tout le contraire du téléologisme. C'est la doctrine pure du hasard, de l'absence complète — trop complète peut-être — de lien causal entre les caractères de l'être et le milieu où il vit. Pour le prouver il suffit de citer : « De tout temps, il s'est présenté des espèces qui, vivant dans un milieu donné, étaient capables de peupler une place vide, voisine, peu différente, étant *par hasard* adéquate aux conditions de celle-ci, de par la réunion *fortuite* de caractères préadaptés[1].

1. Cuénot, *loc. cit.*, p. 418.

« Les espèces n'ont pas de tendances, mais des *possibilités* d'évolution *nombreuses et variées* chez les types synthétiques non spécialisés ; moindres jusqu'à être nulles chez les formes étroitement adaptées [1]. »

Chose singulière, c'est toujours à l'adaptation, quel que soit le mécanisme qu'ils invoquent pour l'expliquer, que les Naturalistes ont rattaché la théorie de la genèse des espèces nouvelles.

On dirait vraiment qu'il n'y a, de par le monde, que des espèces bien adaptées, bien harmonisées avec le milieu où elles vivent. Erreur manifeste. Cette idée, je l'en soupçonne, est une arrière-petite-fille de la croyance aux Harmonies de la Nature. Et cette croyance, à son tour, n'a-t-elle pas pour ancêtre la vieille doctrine théologique de la perfection de l'œuvre du Créateur ? En réalité, dans la nature, il se produit n'importe quoi, et il en résulte ce qu'il peut : vie, mort, souffrance, misère, dégénérescence, accoutumance. Ceci est vrai pour les animaux comme pour l'homme.

Un insecte de la plaine tombe dans un trou profond. Dans ce puits, qui s'arborise en galeries sous la terre, règnent les Ténèbres, la Misère, la Faim. Le lieu est humide et triste. L'animal souffre. Il finit cependant par s'accoutumer à sa prison. Il survit. Il fait souche. Etait-il préadapté à l'obscurité et à la faim ? Pas du tout, il a subi ce qu'il ne pouvait éviter. Le hasard, l'impuissance à sortir de la condition imposée un jour par les circonstances, voilà les grandes dominatrices de l'évolution et de la vie.

Non moins que les animaux, les hommes y sont soumis. Parcourant un jour les landes désolées de la Bretagne, terres ravagées par le vent, où, sous l'âpre climat, l'herbe elle-même

1. *Ibid.*, p. 418.

n'ose sortir du sol, je fus frappé de voir des hommes établis en ces parages désertiques. Ils vivent de poissons et de cormorans, dont la chair est coriace. Encore faut-il, pour la pêche, que la mer soit clémente, ce qui lui arrive peu souvent en hiver. Comme les montagnards de la Maurienne, leurs frères en misère, ils se chauffent avec des bouses séchées, car le bois est un produit exotique et cher. Si dures que soient en ce lieu les conditions d'existence, ces êtres humains restent là, alors que non loin la vie est plus douce. Ils restent là, non parce qu'ils sont préadaptés à souffrir, ou bien au contraire parce qu'ils ne souffrent pas, mais parce qu'ils sont nés sur ce sol, par hasard. Ils demeurent là par incurie!

De même, parce qu'ils subissent passivement le destin, les peuples se laissent conduire à la guerre, qu'ils réprouvent, pour des causes qui ne les intéressent pas.

Comme je l'ai dit plus haut, c'est à sa théorie particulière de l'adaptation que chaque école biologique rattache sa conception de la formation des espèces. Ce sont les changements de milieu, ou les variations des actions physiques et chimiques pour les uns, l'usage d'organes pour des fonctions nouvelles, ou la sélection naturelle, pour les autres, qui engendreront les espèces nouvelles.

Cuénot, Davenport, Morgan, attribuent aux mutations et au peuplement des places vides dans la nature la genèse des formes nouvelles.

Leur doctrine, ils l'opposent radicalement aux autres : « Les adaptations nécessaires et suffisantes ont apparu indépendamment des milieux »[1]. « Le besoin et l'organe créent la fonction[2]. » Une mutation se produit par hasard,

1. Cuénot, *Genèse*, p. 417.
2. *Id.*, p. 418.

un milieu favorable se trouve un jour pour accueillir les mutants, la rencontre fortuite de cet être et de cette circonstance, qui s'emboîtent, assurent l'avenir de la race nouvelle. Aucun rapport causal entre les deux termes. « Il n'y a pas de lien causal entre l'adaptation suffisante à un milieu et les conditions de ce milieu. »

Mais les espèces sont bien nombreuses et les places vides sont rares, dira-t-on.

Sans doute, aujourd'hui, elles sont rares ; mais autrefois il y avait beaucoup de places vides : l'eau douce, les marais saumâtres, la terre ferme, c'est-à-dire les continents, les fentes du sol, la mousse, l'air. L'évolution est aujourd'hui ralentie.

M. Cuénot et les théories de l'Orthogénèse. — Plein de confiance en la toute-puissance de sa théorie, M. Cuénot s'élance hardiment à l'assaut des autres doctrines. En la mettant aux prises avec celles-ci, il cherche à démontrer la supériorité de la sienne pour l'explication des faits les plus singuliers de la Biologie : régression de la vue chez les animaux obscuricoles, existence de la membrane des Sciuroptères et des Galéopithèques, perte de la fonction du vol chez les Oiseaux et les Insectes des îles ; l'homochromie et le mimétisme ; l'orthogénèse, c'est-à-dire l'évolution en série orientée.

M. Cuénot combat à différentes reprises l'action formatrice des facteurs primaires (chaleur, lumière, humidité, pression), etc. On l'a vu déjà, à propos de son interprétation des expériences de transformisme artificiel (expériences sur les Amblyostomes, Salamandres, le Leptinotarsa). Ailleurs il cite l'immunité naturelle de plusieurs Mammifères, du Lérot, et du Hérisson, par exemple, contre le venin des Ser-

pents. Sans doute, il y a l'immunité naturelle. Mais il y a aussi l'immunité acquise, soit par des moyens naturels, soit artificiellement, à la suite d'injections de sérums ou par la vaccination.

L'influence de la lumière et de la chaleur solaires sur le développement des pigments n'est guère niable. Il suffit de se rappeler que les plantes qui croissent à l'obscurité sont dépourvues de chlorophylle, tandis que celle-ci apparaît bientôt chez les végétaux exposés à la lumière. De même, les animaux des régions polaires restent blancs ; chez les autres le ventre est en général plus clair que le dos. De là à supposer que la lumière joue un rôle capital dans le développement des yeux, et que c'est à cause de l'obscurité que les espèces cavernicoles perdent la vue, par défaut de pigments oculaires d'abord, puis ensuite par régression de l'organe, il n'est pas besoin d'une nouvelle hypothèse.

Sans y prendre garde, M. Cuénot invoque lui-même ces agents physiques extérieurs. Sans doute, entre eux et le résultat final, il intercale un terme : la mutation. Mais en définitive la cause demeure inchangée : « la mutation est la réaction de déterminants instables à un stimulus externe [1] ». Il éclaire plus loin sa conception du mécanisme de cette action, — dont il affirme en même temps l'existence, — par cette nouvelle déclaration : « Les stimulus externes et internes, qui sont le *primum movens*, portent sur des déterminants instables du patrimoine génétique. »

Avec plus de sévérité encore, M. Cuénot fait le procès de l'explication lamarckienne.

Prenant pour exemple le Sciuroptère, cet Ecureuil pourvu d'une sorte de parachute dû au développement de la surface

1. *Id.*, p. 440.

cutanée, il montre à l'œuvre le principe de Lamarck : lorsque l'Ecureuil saute de branche en branche, il étend les pattes, étale son corps, distend sa peau pour offrir la plus large surface portante possible, et glisse ainsi sur les couches d'air. La peau de son corps, distendue par la répétition de cet exercice, a fini par donner la large membrane des Sciuroptères. Cette explication « cadre mal avec la persistance des différents membres de la série. Si l'effort a l'effet extraordinaire que lui attribuait Lamarck, il ne devrait plus y avoir d'Ecureuils, mais seulement des Sciuroptères [1] ».

Que voilà une mauvaise logique ! Seules, dirait Lamarck, certaines variétés d'Ecureuils, qui faisaient des bonds prodigieux, sautant non pas d'une branche à une autre, mais d'un arbre à l'arbre voisin, ont dû étaler ainsi leur corps et distendre leur peau. Quant aux Ecureuils ordinaires de nos contrées, qui sautent de branche en branche, moins agiles et moins audacieux, ils n'ont pas, par des exercices de haute voltige, développé cet appareil perfectionné de saut. Le moyen ancien ne disparaît en effet presque jamais devant le nouveau. Le mécanisme rudimentaire survit à côté du mécanisme perfectionné. La charrette demeure à côté du train de chemin de fer, la marche à pied subsiste à côté de la bicyclette, la bicyclette auprès de l'automobile ; la lampe à pétrole à côté du tube électrique au néon, le cheval de trait à côté du cheval de course. C'est que les moyens anciens répondent mieux à certaines fins, à certains besoins, que les nouveaux. Ils offrent par exemple plus de solidité, ou impliquent une moindre dépense.

Et si, malgré tout, l'explication lamarckienne est mauvaise dans le cas du Sciuroptère, faut-il, pour cela, la rejeter tou-

1. *Id.*, p. 432.

jours ? Nullement, et M. Cuénot va, sans y prendre garde, l'appeler une fois au moins à son secours. « On comprend même, dit-il, que l'orthogénèse progressive du doigt III des Equidés ait entraîné l'atrophie des doigts II et IV par *déplacement des excitations qui provoquent la formation du tissu osseux* [1] ». Mais qu'est-ce que cela, sinon l'excitation d'*usage* de Lamarck.

La critique du raisonnement darwinien prête aux mêmes remarques. M. Cuénot emploie ce mode de raisonnement à chaque instant dans des cas particuliers : « il doit donc y avoir à chaque génération, dit-il, une *sélection* rigoureuse des individus *les mieux doués* pour la vie dans l'obscurité... [2] » et « Supposons que les régions tactiles et olfactives présentent une orthogénèse progressive simplement par le *choix des meilleurs oscillants* [3] », mais il le répudie absolument dans un examen général. Revenant sur le cas du Sciuroptère, auquel il associe le Galéopithèque, singe présentant la même modification, il fait d'excellentes remarques critiques, parmi lesquelles celle-ci : « le Galéopithèque, qui a un planeur encore plus parfait que celui du Sciuroptère, a les pattes largement palmées, ce qui paraît tout à fait inutile au point de vue du vol. » A quoi un darwinien s'empressera de répondre : ceux qui avaient une peau un peu plus lâche, — caractère qui a assuré leur persistance — avaient *en même temps* les pattes un peu palmées. Par *sélection* la progression de l'un des caractères a entraîné celle du second, celui-ci invariablement lié au premier.

Au fond, il faut bien l'avouer, toute cette logique, tous ces raisonnements qui s'appliquent indistinctement à tout,

1. Cuénot, *Genèse des espèces*, p. 451
2. *Id.*, p. 150.
3. *Id.*, p. 150.

ne valent pas grand chose. Avec eux on peut prouver à volonté l'une ou l'autre des contradictoires. Darwin démontre que les Écureuils qui avaient la peau la plus lâche sautaient mieux, avaient par conséquent un avantage dans la lutte pour la vie, et plus de chances que les autres de persister. En m'appuyant sur les mêmes faits, je puis conduire ainsi le raisonnement : ils ont une tendance à faire des sauts plus longs, par conséquent plus de chances de se casser les reins. Ils doivent donc être peu à peu éliminés. Et en effet les Sciuroptères sont une rareté parmi les Ecureuils, comme les Galéopithèques parmi les Singes. M. Cuénot prétend, lui, que leur peau, plus fournie, doit les alourdir et gêner leur saut. Pourquoi pas ?

Quand on presse bien toutes ces discussions biologiques, on s'aperçoit qu'il n'y a, le plus souvent, au fond d'elles que des querelles de mots.

Darwin, pour expliquer la fréquence dans les îles et sur les rivages de la mer des Insectes aptères, dit ceci : les Insectes impropres au vol ont moins de chance que les bons voiliers d'être entraînés par le vent loin des côtes, et de périr en mer. Ce sont donc eux qui survivent. M. Cuénot oppose une autre théorie : à l'intérieur des continents, les Insectes qui ne peuvent voler ou qui volent mal sont éliminés par leurs ennemis les Oiseaux, — sauf quelques cas spéciaux. — Dans les Iles, ou sur les côtes, il n'y a pas, ou il y a peu d'Oiseaux insectivores (?).

« L'évolution régressive n'a pas d'inconvénients, *au contraire* (?). Les Insectes en voie d'aptérisme ou aptères... pouvaient donc s'y maintenir. Inversement, les Insectes bons voiliers trouvaient *peut-être* des conditions moins favorables que dans leur milieu originel. » (???) J'avoue que cette explication me paraît bien moins satisfaisante

que celle de Darwin. Il est plus probable, cependant, que les conditions réalisées dans les petites îles : défauts de certains éléments minéraux ou végétaux, insuffisance d'espace ou de nourriture, salinité de l'eau..., produisent une atrophie ou un nanisme secondaire des organes du vol, complètement indépendant de l'utilité ou des inconvénients que cela peut avoir pour l'animal.

CONCLUSION. — Malgré quelques critiques qu'on peut lui adresser, la nouvelle doctrine biologique, si magistralement développée par M. Cuénot dans son livre sur la *Genèse des espèces animales*, a un importance centrale. Elle a le grand avantage de rejeter les explications finalistes, de montrer l'apparition et le maintien des caractères morphologiques et des fonctions organiques indépendamment de leur attribut utile ou nuisible. « L'instabilité de l'organe qui évolue est attribuable *non à son utilité*, mais aux propriétés intimes du patrimoine génotypique de l'espèce d'où part l'orthogénèse. » « Cette instabilité dont nous ne pouvons pour l'instant assigner la cause est *indépendante de toute question d'usage, de non-usage, d'utilité.* » Elle fait une large part au hasard, aux circonstances accidentelles.

Cette théorie a encore le grand intérêt d'appeler l'attention sur les facteurs internes de l'être vivant, trop oubliés. Ce sont des termes intermédiaires, sans doute, mais des pièces indispensables du mécanisme de l'évolution, des pièces qui fixent sa direction.

Bien plus, aux déterminants germinatifs il faudrait ajouter d'autres facteurs internes encore.

Complétée, dans certains cas, par les actions lamarckienne et darwinienne, par l'action aussi du milieu cosmique, elle est très satisfaisante.

Il faudra apporter en Biologie beaucoup d'éclectisme. Les unités vivantes sont complexes et variées. Chaque être est la résultante d'un nombre immense d'actions composantes : les unes sont décelables aisément, d'autres sont cachées. L'individu a, en outre, un immense passé derrière lui, que nous ignorons. Ce passé retentit encore sur lui actuellement.

Il faudra donc étudier chaque cas particulier en détail, spécialement, avant de proposer une explication toujours complexe, toujours valable pour lui seul. Peut-être faudra-t-il exiler les théories générales du royaume de la Biologie.

CHAPITRE VI

LA CHIMIE ET LA VIE : GEORGES BOHN

Parmi les savants français, Georges Bohn est un des plus enthousiastes et des plus personnels. Son exemple et son influence paraissent devoir orienter les idées biologiques en France dans une direction nouvelle et donner une forte impulsion à l'étude des sciences de la nature. Intéressé par maints sujets en dehors de ses propres recherches, il est dégagé des préjugés scientifiques courants. Il se refuse à sectionner la connaissance de la nature en compartiments à cloisons rigides et s'insurge contre l'habitude de retirer les êtres vivants de leur milieu avant de commencer leur étude. On peut dire de lui qu'il est en sympathie avec la nature et qu'il a un sentiment profond de sa complexité. Il en est venu à rejeter successivement toutes les formules, même celles — y compris les siennes propres — auxquelles il a semblé s'attacher un moment. Bohn n'est ni un adepte de la sélection naturelle, ni un lamarckien, ni un weismannien, ni un mutationiste. Biologiste de race, il va de l'avant vers ce qui l'attire le plus, c'est-à-dire les problèmes nouveaux. Il considère toujours l'être vivant et il est frappé par les causes multiples des phénomènes. Ce qu'il recherche, ce ne sont pas seulement les faits, mais la façon dont ils naissent et les forces qui les produisent. Il est déterministe à

fond et fait une guerre incessante au finalisme, théorie qu'il considère comme contraire à la saine interprétation des phénomènes biologiques et comme beaucoup trop répandue, de nos jours encore, parmi les naturalistes.

Son père était professeur de philosophie dans un lycée de Paris. C'était un esprit original et une intelligence supérieure. De bonne heure il quitta l'Université et se retira à la campagne, aux environs de Paris. C'est là qu'il éleva son fils à sa manière, lui épargnant l'éducation ordinaire et claustrée des jeunes Français, qui passent leur enfance et leur adolescence entre les murs d'un lycée. Le père de Bohn ne voulut pas, pour son fils, de ce régime déprimant. Il le laissa courir en liberté dans les champs, l'instruisant à observer la nature et à noter tout ce qu'il voyait : êtres et phénomènes, développant en lui un esprit d'observation par des méthodes toutes personnelles en même temps que d'une grande simplicité. L'enfant tenait un calendrier des saisons, où il inscrivait, à mesure de leur apparition, les chatons des noisetiers ou la date des fleurs de saule, l'époque d'éclosion des différentes fleurs, celle où les grenouilles et les crapauds faisaient leur ponte dans les étangs, la métamorphose des têtards, etc. Tous ces phénomènes, il apprit à les voir, à les observer et à en rendre compte : éducation de naturaliste si jamais il en fut.

Le domaine scientifique qu'embrasse l'œuvre de Bohn est très grand. Son attention s'est fixée tour à tour sur presque toutes les branches des sciences biologiques. Ses recherches ont porté principalement sur :

la physiologie comparée (respiration des Crustacés ; fixation de l'anhydride carbonique par des animaux) ;

la physiologie biologique (persistance des influences passées ; tératogénèse) ;

la physique et la chimie biologiques (influences de la lumière, du magnétisme, de la pression osmotique, du radium, sur la matière vivante) ;

la Psychologie animale (Tropismes ; sensibilité différentielle ; Mémoire associative, Instincts) ;

l'Ethologie (la vie fouisseuse et ses résultats) ;

la Morphogénèse (régulation des formes) ;

la conception chimique des êtres vivants, c'est-à-dire de leur construction, de leur fonctionnement et de leurs actes.

Nous allons examiner maintenant plus en détail quelques-unes de ces recherches.

I. Action des facteurs chimiques et physiques. — Nous n'insisterons que sur quelques mémoires très originaux dans lesquels il montre l'influence de l'eau de mer et du Chlorure de sodium sur la croissance des larves de Batraciens et celle de la pression osmotique comme facteur de tératogénèse. Nous dirons ensuite quelques mots de ses expériences intéressantes sur l'influence du Magnétisme sur le cycle de vie des Infusoires.

A. *Solutions salines et pression osmotique.* — Quand des larves de Batraciens sont placées et maintenues, pendant un temps plus ou moins long, dans l'eau de mer (à des degrés divers de dilution) ou dans des solutions de Na Cl, leur développement éprouve des altérations. Il peut être accéléré ou ralenti, parfois même aboutir à des formes monstrueuses. Le résultat dépend :

1° de la *nature* chimique de la solution ; 2° pour une même espèce chimique de solution, de la pression osmotique de celle-ci ; 3° de la phase de développement de la larve, au moment où elle a été soumise à l'action de la solution.

Bohn a d'ailleurs établi qu'il n'est pas nécessaire de faire agir la solution de façon continue pour obtenir des modifications : en appliquant la solution pendant 2 périodes de 24 heures, on peut faire une analyse beaucoup plus délicate du phénomène. D'une façon générale, l'eau de mer, à concentration convenable, favorise le développement. Les solutions isotoniques de Chlorure de sodium sont moins favorables. Il y a un optimum de concentration ; c'est celui qui correspond à la pression osmotique d'une solution de Na Cl, renfermant 5 grammes de sel par litre d'eau fraîche. Au-dessus et au-dessous de cette concentration, l'eau de mer et surtout les solutions de chlorure de lithium donnent naissance à des monstres, présentant un corps petit et étroit, à queue allongée et mince, fortement incurvée vers le haut.

Voici une expérience particulière de Bohn. Des pontes de *Rana temporaria* furent traitées le 31 mars 1907, pendant 24 heures, par la solution n° 5 d'eau de mer. Dans une de ces pontes, les embryons avaient, le jour où ils furent ainsi traités, 8 millimètres de long (ponte B).

1° Le 1er avril, immédiatement après l'expérience : les témoins (non soumis à l'action de la solution) avaient 9 mm. de long, tandis que les larves traitées avaient une longueur de 10 mm.

2° Le 3 avril, deux jours après la fin du traitement, les témoins avaient 11, 5 mm. de long, et les embryons traités, 13 mm.

Avec Na Cl, les résultats furent moins bons : 9 mm. et 11 mm., respectivement. Les embryons soumis à l'action d'une solution plus diluée d'eau de mer ou de Na Cl (solution n° 3 de Bohn), aussi bien que ceux soumis à l'action d'une solution plus concentrée (solut. n° 8 de Bohn),

furent moins gênés dans leur croissance (9,5 mm. au lieu de 11,5 pour les témoins) ou même montrèrent des caractères anormaux.

Les effets tératogéniques causés par la pression osmotique des solutions ont été étudiés par Bohn. Au-dessus et au-dessous de la concentration de la solution n° 5, qui fournit les meilleurs résultats et correspond à l'optimum, la proportion de « monstres » ou de larves à caractères anormaux croît à mesure que l'écart devient plus considérable. Mais ces monstres présentent des caractères morphologiques très différents dans les deux cas : 1° Avec des solutions de $NaCl$ ou d'eau de mer très diluées, on obtient des monstres courts à corps épais et trapu, une queue très petite et très large ; 2° avec les solutions fortement concentrées (n° 8), des monstres à corps petit et étroit, à queue allongée et étroite, présentant une courbure très marquée vers le haut.

D'un puissant intérêt sont les observations de Bohn sur les *effets tardifs* déterminés par ces solutions salines, et, d'une façon générale, par une foule d'agents chimiques et physiques. En faisant agir la solution sur les embryons pendant 24 heures, les effets tératogéniques sont produits, non pas de suite, mais ultérieurement, au moment de l'operculisation. Par exemple, des embryons ayant été mis pendant 24 heures, le 31 mars, dans la solution n° 8, ne présentaient encore aucune déformation apparente quand ils furent replacés dans l'eau fraîche, le 1er avril. Les individus étaient seulement couchés sur le côté. Ce n'est que le 3 avril seulement, au début de l'operculisation, que les monstruosités commencèrent à se manifester. Les individus montraient un concavité dorsale très prononcée, un étranglement au niveau des branchies et un bombement de la région ventrale. Souvent, la queue était coudée à l'angle droit sur le côté, et

la peau, à certains endroits, était soulevée en ampoules.

Bohn fit agir la solution sur des embryons plus âgés. Quel que fut le stade de l'embryon au moment où on lui appliqua la solution, les effets furent toujours retardés jusqu'à l'époque de *l'operculisation*. Ainsi il existe des périodes critiques, pendant lesquelles seulement des modifications morphologiques sont susceptibles de survenir. Elles sont assimilables, dans le développement de l'être, aux nœuds dans la plante : c'est aux nœuds exclusivement que les nouveaux bourgeons ou rejets peuvent se produire, tandis qu'entre les nœuds la tige reste sans changement.

Bohn a observé les mêmes effets tardifs avec le radium et aussi sous l'action des rayons du soleil.

B. *Action du Magnétisme sur les êtres vivants.* Les expériences faites par Bohn (en collaboration avec Chéneveau), pour déceler l'influence d'un champ magnétique intense sur la matière vivante, sont excessivement intéressantes, et, jusqu'à présent, elles sont les seules qui aient fourni des résultats.

Des Infusoires de diverses espèces étaient placés entre les pôles d'un puissant électro-aimant (du type de Faraday ou du type de Weiss), produisant un champ uniforme de 5.000 (Faraday) et de 8.000 (Weiss) unités C. G. S. La température était maintenue, pendant toute l'expérience, entre 16° et 19° centigr. Les effets ne se manifestèrent pas tout de suite, ni même durant le premier jour ; c'est pourquoi les auteurs avaient affirmé jusque là que ces effets étaient nuls : Max Verworn alla même jusqu'à écrire : « Nous pouvons dire aujourd'hui, avec une entière certitude, que le magnétisme est une forme d'énergie qui ne manifeste aucune action sur la matière vivante ».

Ce n'est qu'après quelques jours que les effets commencèrent à apparaître, au plus tôt le second jour. Ils étaient différents, selon les espèces employées.

Bohn étudia successivement :

1° Infusoires nageurs.

a) Loxophyllum, carnivore et marin. Les *témoins* se multipliaient dans le rapport de 1 à 4, étaient très actifs tout le temps et nageaient avec une vitesse de 400 μ. par seconde. Dans le champ magnétique, les Loxophyllums, à partir du second jour, montrèrent un ralentissement dans leurs mouvements ; ceux-ci tombèrent à 135 μ par seconde. Le quatrième jour, la vitesse était seulement de 80 μ par seconde. En même temps, la multiplication fut entravée (1/13 seulement de ce qu'elle était pour les témoins, le quatrième jour).

b) Avec *Colpidium colpoda*, infusoire herbivore, le quatrième jour, les mouvements étaient devenus 5 fois plus lents, les générations successives apparaissaient lentement et irrégulièrement. Les individus des générations nouvelles restaient petits et, à la fin, étaient complètement atrophiés.

2° Avec les Infusoires thigmotropes et fixés, les effets nocifs furent encore plus marqués. Ils moururent rapidement, sans division ni conjugaison ; quelques-uns s'enkystèrent.

En résumé, le magnétisme agit lentement sur la matière vivante. Il a comme effet :

1° de ralentir les mouvements ciliaires ;

2° d'abaisser la croissance des individus et leur multiplication ;

3° de produire, au bout de peu de jours, tous les caractères de la sénescence ;

4° finalement, de tuer les individus, sans que ceux-ci etntent un rajeunissement par conjugaison.

Les colorations vitales, telles que celles employées par Prowazek, révèlent l'existence d'une altération chimique progressive des tissus.

II. Physio-biologie. — Un des faits de grande portée mis en évidence par Bohn est la persistance des influences passées sur les êtres vivants après la cessation des causes qui ont engendré le phénomène. Il arrive même que l'effet commence longtemps après la cessation de la cause. Il en résulte que l'étude d'un animal ou d'une plante ne peut pas être entreprise en ne prenant en considération que son état présent et les causes actuelles qui agissent sur lui, mais qu'il est nécessaire de connaître les influences auxquelles il a été soumis pendant la période passée de sa vie. En 1903, Bohn a observé que les Arénicoles, qui vivent dans le sable, creusent des galeries de modèle différent, selon que le sable est fin et mouillé, ou coquillé et à dessication rapide ; il remarque aussi qu'elles se meuvent dans ces galeries, pendant que la mer vient et se retire, et que, si les Arénicoles sont portées dans un aquarium, elles conservent leurs habitudes pendant un certain temps.

De même, des têtards, provenant d'œufs qui ont été soumis à une forte insolation, montrent des habitudes et aussi un pouvoir de résistance à l'inanition, absolument différents de ceux que présentent les têtards nés d'œufs qui se sont développés à la lumière diffuse.

Mais l'exemple le plus frappant de l'influence persistante des causes passées est celui des *Convoluta* et des *Pleurosigma*. Les *Convoluta* sont de petits Vers plats ciliés, qui vivent dans le sable des plages. Quand la marée monte,

ils s'enfoncent dans le sable ; quand la mer se retire, ils montent. Eh bien, lorsque ces petits animaux sont placés dans un aquarium, ils continuent à présenter, même en l'absence de toute cause actuelle et excitatrice, ces mouvement étranges de descente et de montée, en *synchronisme avec la marée.* Il y a une sorte d'inertie organique.

Par une rencontre fortuite, qui n'est pas rare dans l'histoire de la science, deux biologistes anglais, Gamble et Keeble, ont fait, en même temps que Bohn, la même découverte. D'autres animaux, tels que des *Diatomées,* du genre *Pleurosigma,* se comportent de la même façon. On peut rapprocher de ces faits, bien que d'une nature différente, les effets retardés de certaines causes. Par exemple, l'effet d'une solution tératogène, où un têtard n'est maintenu que 24 heures, peut ne se produire qu'au moment de l'operculisation de l'embryon.

Un autre phénomène remarquable de physio-biologie, observé par Bohn, est nommé par lui « l'histolyse saisonnière ». En automne, des Arénicoles fouisseuses et des Pectinières tubicoles, subissent une profonde désintégration de leur organisme : destruction des branchies, perforation des téguments, etc., provenant de troubles circulatoires et respiratoires. Par les trous des parois du corps, sortent les œufs. Cette histolyse semble être sous la dépendance de l'état de pureté de l'eau.

III. Physiologie comparée. — C'était un fait universellement admis jusqu'à ces tout derniers temps que, seules, les Plantes, pouvaient absorber et utiliser l'anhydride carbonique et dégager de l'oxygène, tandis que les Animaux en étaient incapables. On se servait même de ceci comme d'une marque différentielle pour séparer les Animaux des

Végétaux. Dès 1898, Bohn trouva qu'un certain nombre de Crustacés sont capables, en ce qui concerne les échanges gazeux, de se comporter comme les Plantes, c'est-à-dire de fixer de l'anhydride carbonique et de dégager de l'oxygène.

De même, il découvrit plus tard que plusieurs sortes d'Actinies, exposées à la lumière vive d'Arcachon, émettaient de l'oxygène et assimilaient de l'anhydride carbonique au moyen de leur pigment et sans intervention d'Algues symbiotes. Beaucoup d'autres animaux présentent la même propriété. Le fait a, depuis lors, été confirmé par beaucoup de savants ; il est considéré aujourd'hui comme une vérité bien établie.

IV. Psychologie animale. — Au lieu d'essayer, comme le faisaient les psychologues de la génération précédente, de retrouver chez les animaux les fonctions psychologiques de l'homme, la raison, l'imagination, les sentiments, etc., Bohn s'efforce d'atteindre les facteurs primaires de l'activité mentale. Il choisit des animaux inférieurs, appartenant aux différentes classes d'Invertébrés, et étudie leur comportement dans des conditions bien définies. Par cette méthode, il est capable de montrer que la plupart des mouvements et des activités des Etoiles de mer, des Crabes, des Annélides, des Littorines, etc., sont provoqués par des facteurs physiques immédiats agissant sur eux, tels que la lumière et l'ombre, la pesanteur, la sécheresse et l'humidité, la salinité, le contact, la courbure. Les réactions des êtres vivants aux causes physiques du milieu ont été appelées « tropismes ». Ils ont été découverts d'abord chez les Plantes. Jacques Loeb, dans une série de travaux remarquables, a montré qu'ils gouvernent aussi les actes des animaux inférieurs. Le plus important des agents physiques qui influen-

cent directement le comportement des animaux, est la lumière. Bohn a fait d'innombrables expériences pour démontrer que les Gastéropodes, les Insectes, les Crustacés, les Echinodermes, sont incités à se mouvoir ou à s'arrêter par la lumière ou l'ombre.

Tropismes. — Les animaux peuvent présenter deux espèces de réactions envers un agent physique. Ils peuvent, ou bien se tourner et se mouvoir vers la source, par exemple vers la source de lumière, ou bien, au contraire, s'en détourner et s'en éloigner. Dans le premier cas, le tropisme est dit positif, dans le second, il est dit négatif.

Considérons le photo-tropisme. Dans le cas où l'animal possède un photo-tropisme positif et est éclairé par une seule source, si les deux côtés de sa tête sont inégalement éclairés, les organes locomoteurs du côté le moins éclairé (le plus éloigné de la lumière) sont plus actifs que les membres de l'autre côté, et l'animal, en progressant, tourne peu à peu, et place sa tête dans la direction des rayons lumineux. A partir de ce moment, les deux côtés de sa tête recevant la même quantité de lumière, les membres de chaque côté se meuvent avec la même vitesse, et l'animal avance juste dans la direction de la source. Si le photo-tropisme est négatif, les membres du côté qui reçoit le moins de lumière s'agitent plus lentement que les membres situés du côté le plus éclairé, et l'animal tourne dans la direction opposée à celle de la source jusqu'à ce que les deux côtés de sa tête reçoivent la même quantité de lumière.

Quand il y a deux sources, et quand l'animal est placé entre elles, la direction suivie par lui est donnée par la règle du parallélogramme des forces.

Bohn a observé que, dans beaucoup de cas, ce n'est plus d'après la direction des rayons lumineux que se fait l'orien-

tation, mais par rapport aux surfaces d'ombre et de lumière perçues à distance. Tout se passe comme si ces surfaces exerçaient, sur les animaux, des attractions et des répulsions. Ceci, évidemment, exige que l'animal ait des yeux. Dans le cas des Crabes, l'orientation est due à une combinaison compliquée de rotation, dépendant de la distribution topographique des taches d'ombre et de lumière sur la surface des yeux.

Il existe d'autres tropismes que le photo-tropisme. Il y a, par exemple, un géo-tropisme : beaucoup de larves d'Insectes, même à l'obscurité, grimpent directement vers le haut, le long des murs ou des branches ; des Annélides creusent des trous verticaux dans le sable ou dans la boue, et montent ou descendent le long de ceux-ci.

On observe aussi l'existence d'un chimiotropisme : certaines larves, des Copépodes, etc., se rendent vers les points où certaines substances chimiques telles que l'oxygène, des acides..., sont émis ou présentent une concentration plus forte. Par exemple, ils vont, comme attirés, vers une place où une goutte d'acide faible vient d'être déposée, et d'où elle diffuse. Ou bien, ils se rassemblent autour des points où des Conferves dégagent de l'oxygène.

Il y a aussi un thermotropisme, un stéréotropisme, etc., Les tropismes, toutefois, ne sont pas ces réactions rigides et inaltérables que beaucoup de biologistes imaginent. Ce fut un des plus grands mérites de Bohn et de Jacques Loeb, de montrer comment les tropismes sont influencés par tout ce qui est capable de changer l'état organique et chimique de l'animal : ils sont modifiés et quelquefois renversés par l'état de sécheresse ou d'humidité de son corps, par la température, par les autres facteurs physiques et surtout chimiques du milieu ambiant, par la nutrition, par les sécrétions internes, en

particulier par la maturité des organes génitaux ; d'où, les changements saisonniers.

Les tropismes entrent encore en combinaison avec les habitudes passées de l'animal ou avec sa mémoire associative. Pour acquérir une idée exacte de la nature de ces phénomènes et de l'analyse délicate qui est nécessaire pour les débrouiller, on ne peut rien conseiller de meilleur que de lire les mémoires de Bohn intitulés : *Les états physiologiques des Actinies* ; *Attractions et oscillations des Animaux sous l'influence de la lumière* ; *l'Anhydrobiose et les tropismes* [1].

En dehors des tropismes, il existe un autre phénomène connu sous le nom de « sensibilité différentielle », bien distingué des tropismes par Bohn et étudié par lui. La sensibilité différentielle est la réponse de l'Animal aux *variations* d'intensité des agents du milieu extérieur. En général, ces variations modifient temporairement le mouvement de l'animal : la trajectoire qu'il suit présente soudainement un crochet. Bohn a trouvé une relation reliant la sensibilité différentielle et le signe (positif ou négatif) du phototropisme [2].

De même, chez les Etoiles de mer et les Ophiures, l'activité motrice, capricieuse en apparence, peut être expliquée par la combinaison des tropismes et de la sensibilité différentielle. On est ainsi à même de pénétrer plus profondément dans le mécanisme de ce qu'on a appelé : « les essais et les erreurs ».

La sensibilité différentielle, comme les tropismes, a son signe modifié par l'insolation, la dessalure, les sensations concomitantes. Par exemple, les sensations tactiles du

1. Voir la Bibliographie à la fin de ce chapitre.
2. *Du changement de signe du Phototropisme :* Comptes rendus Soc. Biologie, LXIII. 1907. Page 756.

Branchellion, Hirudinée parasite de la Torpille, sont changées quand l'animal est fixé à un lambeau de peau de Torpille. Auparavant, la sensibilité différentielle est très forte et favorise la fixation du Branchellion libre sur la Torpille. Quand une ombre passe sur le Branchellion, cette variation d'éclairement suscite une réaction mécanique de l'Hirudinée, qui se dresse et jette sa ventouse vers le haut.

Un troisième facteur joue un rôle important dans le comportement, aussi bien des animaux inférieurs que des animaux supérieurs : c'est la « mémoire associative ». Une sensation *a*, par exemple, fait naître communément une réaction A. Plus tard une sensation d'espèce différente, *b*, est reliée, — ou, comme on dit, « associée » — avec *a*. Alors, quand *b* se produit, la réaction A est provoquée. Voici un exemple précis : quand on montre, à distance, un morceau de viande à un chien, les glandes digestives de son estomac commencent à sécréter. Maintenant, si, chaque fois que le morceau de viande est montré au chien, on produit une certaine note musicale, il suffit, après un certain nombre d'expériences, de produire le son, pour déterminer la sécrétion automatique des glandes de l'estomac (Pawlow).

Bohn a réuni ses vues profondes en psychologie comparée, dans deux livres du plus haut intérêt : *La naissance de l'Intelligence* et *La nouvelle Psychologie animale.*

V. MORPHOGÉNIE. — Le *milieu*, c'est-à-dire les agents physiques, chimiques et mécaniques, ainsi que les parasites, agissent sur les mouvements de l'animal, ou, d'une façon plus générale, sur ses *fonctions*. A leur tour, les fonctions agissent sur la forme et sur la texture des organes.

C'est dans ce mécanisme, sans doute, qu'il faut chercher la cause de l'habitat et du mode de vie : « Dans le sable »,

dit Bohn, « la propagation des ondes transversales (mouvements sinusoïdaux) des Annélides est remplacée par une propagation par ondulation longitudinale (mouvements d'élongation). C'est ainsi que l'action morphogénique des mouvements est clairement perceptible ; tandis que les mouvements sinusoïdaux amènent la différenciation de parapodes doubles, les mouvements d'élongation déterminent, dans certaines régions du corps, la différenciation des tores *uncinigères* et celles des boucliers ventraux. Toutefois, j'ai essayé de montrer que, dans ces questions de morphogénèse, il est nécessaire de faire appel à des facteurs multiples et complexes. »

Le mode de vie fouisseuse amène avec lui, chez les Homaridés et les Crabidés, les mêmes modifications : d'abord, on peut observer une conservation de caractères embryonnaires chez l'adulte, et l'arrêt de développement. D'autre part, les membres et les appendices éprouvent de curieuses adaptations : par exemple, les pattes thoraciques, tantôt deviennent « nettoyeuses », tantôt habilleuses, ou maçonnes, ou fouisseuses, tandis que chez *Néphrops* et *Callianasse*, il existe une sécrétion visqueuse qui, avec l'aide de soies chitineuses, retient le sable autour des orifices respiratoires.

VI. Régulation chimique des formes ou morphogénie chimique. — Les travaux de Bohn qui ont la portée de beaucoup la plus considérable sont ceux qu'il a faits en collaboration avec Mme Bohn-Drzewina, sur la régulation chimique des formes. En 1912, l'attention des auteurs avait été attirée par le changement de type de symétrie d'un petit Hydraire marin, le *Stauridium productum*, quand on l'élève en aquarium. Tandis que le polype normal a une symétrie tétramère, ses douze bras ou tentacules étant disposés en trois verti-

cilles, de *quatre* tentacules chaque, *les nouveaux polypes issus de bourgeons* dans les conditions du laboratoire présentent quinze tentacules, distribués en 5 verticilles, ayant une symétrie trimère (3 tentacules par verticille). Le *polype initial lui-même* subit une réorganisation et montre une symétrie trimère, excepté pour un verticille.

Mais cette observation ne pénétrait pas dans le mécanisme du phénomène.

En 1916, les deux auteurs firent une série d'expériences et mirent au jour les causes chimiques commandant le phénomène. En faisant varier la quantité d'oxygène fournie aux animaux, ou plutôt en supprimant complètement l'oxygène, ils obtinrent des modifications des fonctions et de la structure d'Hydraires.

Bohn et Mme Bohn-Drzewina enfermèrent quelques *Hydra viridis* dans des tubes à essai scellés, et maintinrent ces animaux complètement privés d'oxygène pendant 7 heures. Les Hydres montrèrent une altération profonde ; remises dans de l'eau normale (contenant de l'oxygène en dissolution), le corps se rompit et les cellules se dispersèrent tout à l'entour. La même chose eut lieu avec des Planaires marines.

L'Hydre montre différents degrés d'altération : 1° il peut y avoir destruction totale du corps dans l'intervalle d'un ou deux jours ; 2° il peut y avoir simplement réduction du corps ; le corps se réduit à une petite boule d'environ 1 millimètre, entourée d'une enveloppe opaque, constituée par l'ectoderme épaissi. L'espace tout autour est parsemé de cellules rejetées. Ceci peut être interprété comme une espèce d'autotomie cellulaire. Puis, le corps se reconstitue rapidement. Ainsi, l'Hydre, après être revenue à un état embryonnaire, recommence à suivre son évolution progressive.

3° souvent les tentacules sont seulement altérés et plus ou moins dissous. Puis, le corps s'allonge, et les tentacules reparaissent, les bras étant maintenant bifurqués ;

4° il arrive aussi qu'aucune altération visible ne peut être observée. La désoxygénation, dans ce cas, provoque alors une espèce d'activation qui est attestée par la croissance de tentacules supplémentaires. Par exemple, dans une expérience, les auteurs ont vu une Hydre à 5 bras acquérir, après avoir été soumise à la privation d'oxygène, un nouveau verticille de 5 autres tentacules. Dans d'autres cas, 4, 3, ou 2 tentacules seulement sont produits.

Si l'Hydre subit un nouveau changement, il arrive en général qu'elle perd ses anciens bras, et qu'elle ne garde que les nouveaux.

Dans une seconde série d'expériences, M. et Mme Bohn ont observé des phénomènes plus étonnants et plus suggestifs encore. Quand on fait varier le temps pendant lequel les Hydres sont soumises à l'asphyxie par privation d'oxygène, on peut constater qu'*il y a une durée pour laquelle l'effet est maximum*. Cette durée est de 7 à 10 heures. Si l'animal est maintenu 24, 48, 72 heures, dans les mêmes conditions, les effets nocifs, au lieu d'être accrus, sont diminués et presque absents. L'expérience peut être prolongée 98 heures. Bohn explique ce résultat paradoxal de la manière suivante : la privation d'oxygène détermine une tendance, c'est-à-dire des conditions susceptibles de produire la désintégration de la structure de l'organisme. Mais, pour que cette désintégration se réalise en fait, la présence d'oxygène est nécessaire. Si, après 7 à 10 heures, l'animal est remis dans de l'eau contenant de l'oxygène (de l'eau normale), la dissociation se produit. Sinon, elle n'a pas lieu. Maintenant, quand l'expérience est prolongée, quand l'Hydre est maintenue

24 ou 70 heures, en milieu anaéroïde, un autre phénomène survient et change la tendance qu'avait l'organisme à se dissoudre. La crise est passée. La prolongation du défaut d'oxygène est favorable au rétablissement de l'animal. En fait, avec *Hydra viridis*, maintenue 72 à 96 heures sans oxygène, Bohn et Mme Bohn ont observé seulement un certain allongement du corps et une perturbation des mouvements des tentacules, mouvements qui ne sont plus simultanés.

On peut rattacher à ceci le fait, autrefois constaté par Bohn, que l'action nocive du cyanure de potassium sur les spermatozoïdes d'Oursins n'augmente pas avec la durée du traitement, mais au contraire diminue.

Un autre fait dû à la suppression d'oxygène est que les bourgeons ont une tendance à se détacher, à un stade de développement moins avancé que normalement.

L'étude de la régulation des formes organiques au moyen des agents chimiques permet de concevoir de grandes espérances. Ce sont surtout les bourgeons, à un certain stade de leur développement, ou plutôt les êtres qui sortent de ces bourgeons, qui sont influencés.

Quand une Hydre, portant un bourgeon déjà allongé, mais ne montrant encore aucune indication de bras, est privée d'Oxygène, le bourgeon, bien qu'il se développe, reste indéfiniment attaché à l'Hydre mère. On obtient ainsi une Hydre double.

Des Hydres doubles ont été, en effet, décrites par beaucoup de zoologistes. Ils expliquent leur production comme étant le résultat d'une espèce de scissiparité longitudinale. Mais, en fait, le mécanisme de production d'une Hydre double n'a jamais été observé. Bohn produit à volonté ces *Döppelbildungen* ,comme les appellent les auteurs allemands.

Il les obtient d'une façon bien simple : en privant d'oxygène des Hydres vertes qui portent des boutons ayant atteint un certain état de développement. Dans le nouvel organisme branchu, la partie basale, par une sorte de *régulation* automatique, se place de façon à constituer un tronc commun, supportant les deux polypes. Le nouvel être a ainsi la forme d'un Y.

Fig. 9. Fig. 10.

Ci-contre sont reproduites quelques-unes des formes obtenues par Bohn et Mme Bohn dans leurs expériences. Dans la fig. 1, l'Hydre, après avoir passé 10 heures dans le tube sans oxygène, se réduit, le jour suivant, à une petite masse portant un bourgeon (1*a*). Puis elle croît rapidement en une Hydre branchue, qui, plus tard, subit un remodelage (1*c*). Dans la fig. 2, les polypes semblent se repousser mutuellement. Dans la fig. (4*a*), les deux Hydres sont reliées par un pont.

Finalement, l'Hydre fille devient libre et l'Hydre mère reste avec deux « pieds » fig. (4 *b*).

Depuis quelques années, Bohn s'est efforcé de montrer

que, dans tous les cas, les fonctions et les modifications de forme dépendent d'une cause chimique. D'après sa conception, basée sur une analyse profonde de cas réels, la stabilité et l'évolution des plantes et des animaux ne doit pas être recherchée dans des explications « finalistes » telles que « l'hérédité », la « sélection naturelle », ni même « l'activité fonctionnelle », entités verbales sans précision ; c'est dans un conditionnement chimique rigoureux, qui doit être étudié dans chaque cas particulier de façon approfondie, que gît la véritable explication positive.

BIBLIOGRAPHIE

La naissance de l'Intelligence. Paris, Flammarion.

La nouvelle Psychologie animale. Paris, Alcan.

Des mécanismes respiratoires chez les Crustacés décapodes (Thèse). (Bulletin scientif. de la France et de la Belgique, t. XXXVI.)

De la lumière, de l'aliment et de la chlorophylle, comme facteurs modificateurs du mouvement des Amphibiens. (Comptes rendus Acad. d. Sc., CXXX, 1914, p. 1244.)

De l'action de l'eau de mer et de Na Cl sur la croissance des larves des Batraciens. (Comptes rendus Soc. de Biol., LXII, 1907, p. 1060.)

De l'action du champ magnétique sur les Infusoires. (Comptes rendus Soc. de Biol., LV, p. 800 et Comptes rendus Acad. Sc., CXXXVI, 1903, p. 1579.)

Les Convoluta et la théorie des causes actuelles. (Bulletin du Museum, 1903, p. 352.)

Sur les mouvements oscillatoires des Convoluta. (Comptes rend. Acad. Sciences, CXXXVII, 1903, p. 576.)

Le rythme des marées et la matière vivante. (Comptes rendus Soc. Biol., LXI, 1906, p. 708.)

Les tropismes, les réflexes et l'intelligence. (L'année psychologique, XII, 1906, p. 137.)

Les états psychologiques des Actinies. (Bulletin Institut général psychol., VII, 1907, p. 81-120 et 135-181.)

Rapports et contrastes biologiques entre les Animaux et les Végétaux. (Revue des Idées, III, 15 févr. 1906, p. 124-137.)

Attractions et oscillations des animaux sous l'influence de la lumière. (Mémoires Institut général Psychol., I, 1905, p. 1-111.)

Sur un changement du type de symétrie chez un Hydraire (en collaboration avec A. Drzewina). (Comptes rendus Soc. Biol., LXXIX, 1916, p. 131.)

Phénomènes de réduction et d'activation chez les Hydres à la suite de variations de la teneur de l'eau en Oxygène.

Atténuation des effets nuisibles de l'asphyxie avec la durée du traitement. (Ces deux derniers mémoires : Comptes rend. Soc. Biol., LXXXIX, 1916, p. 429.)

Production expérimentale d'Hydres doubles. (Comptes rendus Soc. Biol., LXXXIX, p. 507.)

CHAPITRE VII

LE MAINTIEN DU MILIEU MARIN ORIGINEL DANS LES ÊTRES VIVANTS L'EAU DE MER MILIEU VITAL POUR LES CELLULES RENÉ QUINTON

La vie a pris naissance dans les océans.

Au point de vue physiologique, tout organisme est un aquarium marin où vivent ses cellules : la composition chimique de l'eau de mer est conservée comme milieu interne dans toute la série zoologique. René Quinton, qui a saisi la portée de ce fait, a énoncé la loi de constance du milieu marin comme milieu vital, applicable à toutes les espèces.

Cette loi générale se trouve complétée par deux lois particulières, valables seulement pour les Vertébrés ou pour certaines classes d'entre eux : la *loi de constance thermique originelle* et la *loi de constance osmotique originelle.*

I. Loi de constance thermique originelle. — C'est dans les mers *chaudes* des ères prépaléontologiques que la vie a pris naissance, sous forme de rudimentaires cellules peu organisées. L'Astronomie, la Géologie, la Paléontologie, témoignent toutes de la haute température du globe terrestre et des mers aux époques anté-primaires. La vie,

cependant, n'a pu apparaître qu'au moment où la température de l'eau s'est abaissée à 45° environ. Pour une chaleur plus élevée la matière vivante cesse de fonctionner. 45° est la *limite thermique* de la vie cellulaire. C'est aussi, à très peu près, la *température optima* (d'après Quinton) d'activité fonctionnelle. Les organismes surgis dans ces conditions trouvaient, dans le milieu ambiant, les conditions idéales pour le jeu des fonctions physiologiques. Jusqu'à la fin de l'Ere primaire, les organismes sont tous dépourvus du pouvoir d'élever leur température. Il n'y a encore que des Invertébrés et des Vertébrés à sang froid : les Mammifères et les Oiseaux n'ont pas encore apparu. Au cours des périodes suivantes, le globe terrestre et les mers qui le couvraient continuèrent à se refroidir. Pendant ce refroidissement, la presque totalité des organismes continua à vivre en équilibre thermique avec le milieu : les animaux subissaient le refroidissement ; leur thermogénèse était nulle.

En même temps, l'activité de leurs cellules diminuait à mesure qu'ils s'éloignaient des conditions optima des origines. Il y eut cependant exception pour certains Vertébrés qui apparurent à cette époque et aux époques suivantes : les Mammifères et les Oiseaux. Ces espèces supérieures n'acceptèrent pas cet amoindrissement vital que le refroidissement du milieu ambiant allait leur imposer. Ils organisèrent le moyen de créer de la chaleur et de maintenir, par ce moyen, la température de leurs tissus au-dessus de celle du milieu extérieur. Ils réglèrent leur thermogénèse, de façon qu'*au moment de leur apparition*, elle rétablit exactement la température optima initiale où la vie avait pris naissance. Les Mammifères qui apparurent lorsque le refroidissement avait abaissé déjà la température de 2° au-dessous de celle des mers où s'étaient développées les

premières formes animées (44°-45°), furent capables de créer assez de chaleur pour maintenir leur température propre deux degrés au-dessus de celle du milieu ambiant : dans un milieu à 42° ils réalisent en eux-mêmes une température de 44°. Plus tard, quand cette température tomba à 40°, 38°, 35°... ils continuèrent, avec leur faible pouvoir thermogénique, à ne se hausser que de 2° au-dessus du milieu ambiant, c'est-à-dire qu'ils vécurent à 42°, 40°, 37°... Mais, en même temps, de nouvelles espèces de Mammifères et d'Oiseaux surgissaient successivement. Ces espèces, à pouvoir calorifique plus grand, réglaient leur fonction thermogénique, de façon à réaliser dans l'organisme la température de 45°. C'est ainsi qu'aujourd'hui les Ornithorinques n'ont plus qu'une température propre de 25°, les Échidnés 30°7, le Tatou 34°, tandis que l'Homme a 37°2, le Bœuf 40° et les Oiseaux carinates de 40° à 44°.

« En face du refroidissement du globe, la vie, apparue à l'état de cellule par une température déterminée, tend à maintenir, pour son haut fonctionnement cellulaire, chez des organismes indéfiniment suscités à cet effet, cette température des origines. »

II. Loi de constance de la tension osmotique originelle chez tous les Vertébrés. — Ce n'est pas seulement la *composition chimique* de l'eau des mers où elle est apparue, que la vie a tendu obstinément à maintenir au sein des organismes. Tout en conservant leurs rapports relatifs, les éléments constituants : Chlorures de Sodium, de Potassium, Sulfates... peuvent être plus ou moins dilués dans le solvant : l'eau. Tandis que la concentration des mers allait sans cesse en croissant, au long des âges géologiques, comme l'attestent les dépôts marins et les roches sédimen-

taires, la plupart des animaux — tous les Invertébrés — restèrent en équilibre osmotique avec le milieu environnant. Comme celle des océans eux-mêmes, la concentration actuelle du milieu intérieur des Invertébrés est de 33 grammes pour 1.000. Cette énorme concentration est moins favorable à une haute activité physiologique cellulaire que la solution plus diluée que formaient les mers primordiales. Seuls les organismes les plus anciens et les plus inférieurs ont subi la variation désavantageuse que le monde extérieur leur imposait : leur milieu interne se trouve en effet en communication et en équilibre osmotique avec le milieu marin. Tout autrement se sont comportés les Vertébrés marins, Poissons cartilagineux et Poissons osseux, dont sont sortis par la suite tous les autres Vertébrés. Contre la diminution d'activité dont ils étaient menacés, ils se sont insurgés. Leur organisme s'est fermé osmotiquement aux eaux sursalées qui les entouraient. Ils ont maintenu en eux la concentration de choix des mers originelles, celle qui offrait à l'activité vitale les conditions optima. Ni l'existence habituelle en milieu sursalé des Poissons osseux des mers actuelles, ni la vie aérienne ou terrestre des Oiseaux et des Mammifères, ni le séjour dans les eaux douces de certains Poissons, n'ont été capables de forcer ni d'atténuer le déséquilibre osmotique obstinément maintenu par tous les Vertébrés. Seuls les Poissons cartilagineux ont une concentration de 15 à 22 grammes. Le fonctionnement supérieur des êtres qui ont maintenu en eux le degré de concentration originelle est montré par la comparaison de l'activité respiratoire, qui donne la mesure des oxydations. Tandis que chez les *Invertébrés* l'oxygène consommé par heure et par kilogramme d'animal est en moyenne de 61 cmc, elle est pour les *Poissons* de 92 cmc. La loi générale du

maintien des conditions originelles chez les organismes à fonctionnement supérieur « montre, dit Quinton, ce que la Science moderne s'est efforcée d'ignorer, que la Vie est un phénomène assujetti à des conditions assez étroitement déterminées, puisque, depuis les origines, malgré les occasions, malgré les causes de variation qui se sont offertes ou produites, la vie animale ne paraît pas avoir pu mieux faire que de maintenir invariables, pour son activité maxima, les conditions des origines ».

BIBLIOGRAPHIE

René QUINTON : *L'Eau de mer, milieu organique*. Paris, Masson, éditeur.

BOTANIQUE

CHAPITRE VIII

GUSTAVE CHAUVEAUD ET L'EMBRYOGÉNIE DES PLANTES. MARIN MOLLIARD ET LA PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. L. MATRUCHOT ET LA CULTURE DES VÉGÉTAUX INFÉRIEURS

Dans ce chapitre on a laissé de côté les travaux de Bornet, de Van Tieghem, de Gaston Bonnier, de Costantin, de Guignard, de Sauvageot, aujourd'hui universellement connus. Les recherches de Van Tieghem sur l'organographie de la fleur, de la graine, et sur d'autres sujets, se trouvent condensées dans son *Traité de Botanique*; celles de Bonnier dans son *Cours de Botanique*, et dans *Le Monde végétal*. M. Costantin a rassemblé une grande partie de ses études et doctrines dans les ouvrages suivants : *Les Végétaux et les milieux cosmiques*, *La Nature tropicale*, *L'Hérédité acquise*, *Le Transformisme appliqué à l'agriculture*. Les travaux de Bornet et ceux de Sauvageot sur les Algues marines et leur reproduction, ceux de Guignard sur le mécanisme intime de la fécondation des Plantes et la microchimie végétale sont faciles à se procurer. Il est nécessaire, d'ailleurs, de se référer aux mémoires originaux pour obtenir une con-

naissance de recherches d'une technique aussi compliquée et délicate.

Pour donner un aperçu des tendances les plus récentes en Botanique, j'ai choisi un représentant de la Botanique morphologique, un de la Botanique physiologique et un de la Botanique expérimentale appliquée à la culture des plantes inférieures.

GUSTAVE CHAUVEAUD : L'EMBRYOGÉNIE VÉGÉTALE ET LA THÉORIE MORPHOGÉNÉTIQUE DES PLANTES.

Au lieu de chercher à expliquer rationnellement et *à priori* les différences structurales des divers membres de la Plante : racine, tige, feuilles, par des rotations géométriques des faisceaux cribro-vasculaires ou par des retournements, Gustave Chauveaud a demandé cette explication à l'embryogénie. En étudiant le développement de la plantule à partir d'un état très jeune, il a pu constater et prouver de façon irrécusable que la très jeune plantule présente une série de formations transitoires précoces, dont les premières disparaissent ensuite par résorption, tandis que les dernières apparaissent plus ou moins tôt et à des places différentes, selon le membre de la plante que l'on considère.

Sans hypothèse aucune, il a pu rendre compte ainsi de la *disposition alterne* des faisceaux libériens et des vaisseaux du bois dans la racine, de leur *disposition superposée* dans la tige, et de mille autres complications de structure que l'on observe chez les Cryptogames vasculaires, chez les Gymnospermes et chez les Angiospermes. Outre le *tissu*

sécréteur transitoire des résineux, Gustave Chauveaud a découvert le *liber précurseur*, qui joue un rôle si important dans le développement des Gymnospermes, et les *vaisseaux transitoires* qu'on trouve chez les Cryptogames vasculaires et chez toutes les Phanérogames.

Pour faire bien comprendre le rôle de ces éléments transitoires dans la morphogénèse de la plante, j'indiquerai brièvement l'évolution du système libérien chez une Gymnosperme et celle du système vasculaire (bois) dans une Angiosperme.

Prenons d'abord une Gymnosperme : le Sapin *(Abies pinsapo)* et examinons successivement la radicule, l'axe hypocotylé, et les cotylédons.

Radicule. — *Phloème ou faisceaux libériens.* — Dans une radicule très jeune, on aperçoit d'abord, sur une coupe, quatre taches claires représentant le *phloème précurseur* sous son premier état. Bientôt les éléments cellulaires de celui-ci s'allongent et deviennent de véritables tubes, coupés de surfaces transversales portant de petits cribles (*pp* fig. 11).

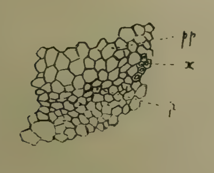


Fig. 11.

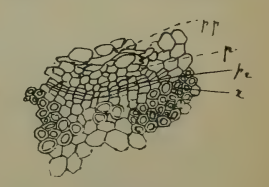


Fig. 12.

Contre le Phloème précurseur, en dedans de lui par rapport au centre de figure de la racine, on aperçoit à ce moment d'autres tubes plus étroits que les premiers (*p.* fig. 12).

Ils sont munis de cribles nombreux tant sur leurs faces latérales que sur leurs faces transversales. C'est le *liber* ou *phloème primaire* proprement dit. « A un moment donné, chaque faisceau du phloème de la radicule se montre donc formé : d'une portion externe très épaisse ou phloème précurseur (*pp* fig. 12) ; d'une portion moyenne peu épaisse ou phloème primaire (*p.* fig. 12) ; d'une portion interne ou phloème secondaire (p_2) au début de son développement. » Puis les tubes précurseurs perdent leur turgescence, ils s'aplatissent sous la poussée des tubes primaires et secondaires, et finissent par être résorbés complètement par les tissus adjacents.

Hypocotyle. — On trouve, comme dans la radicule, des tubes du phloème (liber) précurseur qui continuent, en direction, ceux de la racine ; puis, le phloème primaire et enfin il se forme du phloème secondaire par différenciation de l'assise génératrice. En même temps que ce dernier tissu apparaît, le phloème précurseur entre en dégénérescence, se plisse, et finit par être totalement résorbé (fig. 13).

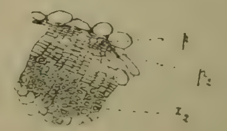


Fig. 13.

Cotylédons. — Les faisceaux du phloème précurseur se subdivisent et s'étalent dans les cotylédons. Il y a accélération embryologique. Le liber primaire se constitue rapidement du côté central de la coupe bientôt suivi de l'apparition

du tissu criblé secondaire. Un peu plus tard le phloème précurseur est résorbé ainsi que la plus grande partie du liber primaire. Il ne reste que le liber secondaire.

Tissus transitoires vasculaires (vaisseaux du bois). — Les premiers tissus qui forment les vaisseaux du bois (xylème ou tissu vasculaire) dans la jeune plantule disparaissent également au cours de l'évolution ultérieure de celle-ci. Mais, tandis que les formations transitoires vasculaires(bois) s'observent également chez les Gymnospermes et chez les Angiospermes, on ne rencontre pas de phloème précurseur chez les plantes de ce dernier groupe. Cela tient à ce que, chez elles, le tissu criblé *primaire* (liber primaire) est différencié avant les premiers vaisseaux du bois, contrairement à ce qui a lieu chez les Gymnospermes.

Pour indiquer l'évolution du système vasculaire des Phanérogames on peut suivre par exemple le développement d'une plantule d'Oignon *(Allium cepa)*. Cette plante ne possède qu'un cotylédon (Monocotylédones).

Dans la radicule de la plantule très jeune on voit deux faisceaux vasculaires (bois) qui alternent chacun avec deux faisceaux du tube criblés (liber).

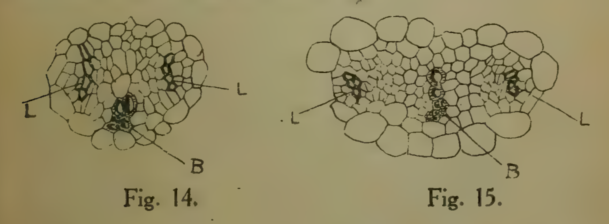


Fig. 14. Fig. 15.

Dans le cotylédon passe l'un des faisceaux vasculaires (fig. 14.) vaisseaux primaires B) ; il en est de même de

la moitié la plus proche de lui de chacun des deux faisceaux libériens.

Le faisceau ligneux est compris entre les 2 demi-faisceaux libériens (fig. 15 : B).

Bientôt, un nouveau vaisseau B', appelé *vaisseau intermédiaire*, (B'), se différencie de part et d'autre des vaisseaux primaires B (fig. 16 : B'). Puis, à mesure que le nombre de

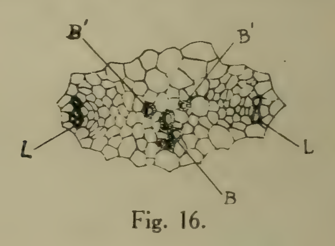


Fig. 16.

ces vaisseaux intermédiaires s'accroît, les premiers vaisseaux primaires différenciés entrent en régression ils finissent par être complètement digérés par les cellules adjacentes, et à leur place il ne reste, pendant quelque temps, qu'une lacune. Mais de nouveaux vaisseaux B'' (fig. 17 B'') :

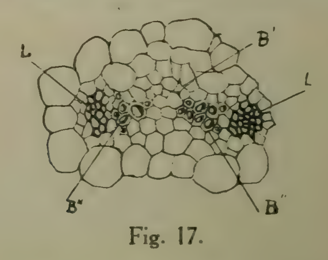


Fig. 17.

apparaissent plus tardivement encore, immédiatement

au-dessous des demi-faisceaux criblés avec lesquels ils forment 2 groupes superposés, tandis que la résorption des vaisseaux alternes primaires et intermédiaires s'achève : « Désormais, dans le cotylédon, les vaisseaux superposés B'' seuls subsistent, formant avec les demi-faisceaux criblés L deux groupes cribro-vasculaires complètement séparés l'un de l'autre, tout à fait semblables aux faisceaux superposés de la tige et de la feuille. »

THÉORIE DE LA STRUCTURE DES PLANTES. — En dehors de ses remarquables travaux sur le cycle évolutif du système cribro-vasculaire et sur les tissus transitoires embryonnaires, Gustave Chauveaud a proposé une théorie très originale de la structure des Plantes. Elle est basée, elle aussi, sur ses recherches sur le développement embryogénique.

Au commencement du XIXe siècle, au moment où l'Anatomie comparée des Animaux attirait tous les Naturalistes par les aperçus synthétiques et généraux qu'elle faisait découvrir, Gaudichaud imagina la théorie des *Phytons*. D'après lui, toutes les Plantes — les plantes phanérogames, les seules que l'on considérât alors — devaient être conçues comme constituées par un assemblage de feuilles, dont les pétioles s'étaient soudés à une certaine distance du limbe ; par leur prolongation ils constituaient la tige de la plante.

Cette conception de Gaudichaud, après avoir été oubliée par l'école de Botanique descriptive de l'époque de De Candolle, a été ressuscitée par plusieurs auteurs contemporains. Ils ont montré que la structure vasculaire de la feuille s'étend à la tige, et qu'il est possible de reconstruire, en partant de cette représentation, la morphologie interne de la tige.

La seule difficulté qui subsiste est de rendre compte de la structure de la racine. Quelques Botanistes se sont efforcés

de reconstruire aussi la racine par le même procédé, tandis que la plupart d'entre eux ont essayé de prouver la théorie de « raccordement ».

D'après Chauveaud ce n'est pas dans la feuille qu'il faut chercher l'*origine* de la structure de la plante, mais dans la racine. Ceci, l'étude de l'ontogénie végétale le montre. *La racine conserve des caractères primitifs et présente une série de structures vasculaires successives dont la dernière seule est représentée dans la feuille.*

Chauveaud, comme on l'a vu plus haut, a montré l'existence de plusieurs tissus transitoires très précoces dans la plantule, qui disparaissent presque aussitôt formés et font place à de nouvelles formations arrangées suivant un autre plan.

L'élément intégrant fondamental des Plantes n'est donc pas la feuille, — ou *Phyton* — mais *une feuille avec une racine.* Il appelle cet élément complexe, l'ensemble d'une feuille et d'une racine : une *Phyllorhyze.*

Considérons d'abord le développement d'une Cryptogame vasculaire : *Ceratopteris thalictroïdes.*

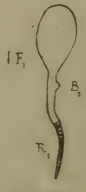


Fig. 18.

Au début, la plantule qui sort du *Prothalle* est composée d'une feuille F_1 (fig. 18) et d'une racine R_1. La jointure, P,

des deux membres se trouve au point de rencontre avec le prothalle.

Bientôt un bourgeon B, placé sur le pétiole de la première feuille, se met à croître et donne naissance à une seconde feuille F_2 (fig. 19) et racine R_2 constituant ensemble une seconde phyllorhyze.

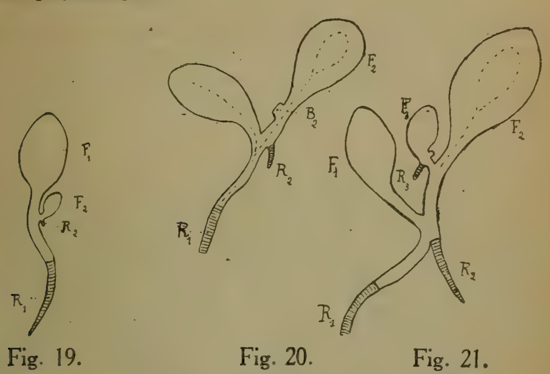


Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21.

Sur la seconde feuille, un second bourgeon B_2 (fig. 20) pointe à son tour. En se développant il produit une troisième phyllorhyze (F_3, R_3) (fig. 21).

Mais dans la réalité les choses ne se présentent pas de façon aussi clairement distincte que le fait l'analyse précédente. D'abord une partie de la phyllorhyze peut être plus ou moins abortive. C'est ce qui arrive généralement pour les racines supérieures ; ou bien, inversement, il peut y avoir plusieurs racines.

Il y a surtout une condensation, dans le temps et dans l'espace, de l'apparition et de la croissance des phyllorhyzes successives. Cette accélération embryogénique raccourcit

de plus en plus la durée qui sépare leur venue ainsi que la distance entre leurs points d'émergence, et le fusionnement est toujours plus accentué. La tige est le résultat de ce fusionnement.

Prenons maintenant une plante *phanérogame*. Le mécanisme de sa construction est le même. Examinons d'abord une Monocotylédone : *Cordyline australis*. La plantule, au début, n'est constituée que par une feuille F_1 et une racine R_1 (fig. 22). Puis, sur le côté interne de la feuille, croît une

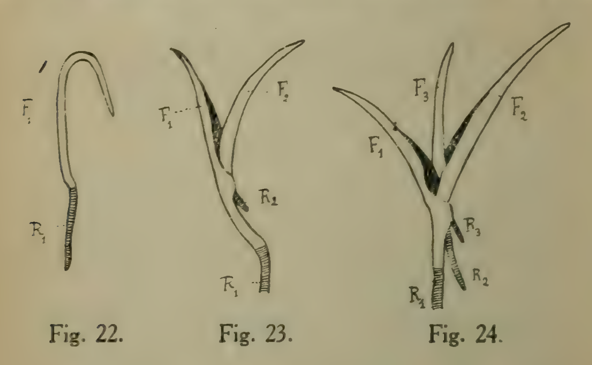


Fig. 22. Fig. 23. Fig. 24.

seconde feuille et, plus tard, une seconde racine s'allonge. (fig. 23). A son tour la seconde feuille donne naissance, sur sa face interne, à une troisième phyllorhyze (fig. 24).

Ici également, et bien plus encore qu'avec les Cryptogames, la distance entre les phyllorhyzes successives est excessivement raccourcie et les racines de rang supérieur avortent généralement.

Dans le cas des Dycotylédones, les phénomènes sont encore plus condensés. Les deux premières phyllorhyzes

sont presque entièrement agrégées (fig. 25). T est le début de la tige. En outre, les deux premières racines, soudées ensemble, possèdent la propriété de croître indéfiniment

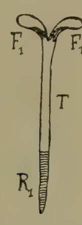


Fig. 25.

et tiennent ainsi lieu de racines à toutes les phyllorhyzes ultérieures. Les racines de ces dernières, abortives dans le cas général, se forment toutefois dans des cas exceptionnels.

La Physiologie végétale : Marin Molliard

Les recherches de M. Molliard portent surtout sur l'influence des matériaux nutritifs, sur la modification des caractères morphologiques et des fonctions physiologiques des Plantes. Il s'est occupé aussi des effets du parasitisme.

1° *Effets d'un milieu nutritif artificiel.*

A. *Modifications morphologiques.* — Molliard a cultivé des Radis en culture « pure » (c'est-à-dire ne contenant aucun

microrganisme), sur une solution saline additionnée de 10 pour 100 de *glucose* et rendue solide par de la gélatine.

Les modifications ont porté sur les caractères morphologiques externes et internes des feuilles, de la tige et des racines.

a) Les altérations de l'aspect extérieur ne sont pas très importantes : les feuilles deviennent plus vertes et plus minces ; le « limbe » se divise en trois paires de folioles à la base. Le pétiole est épais et court.

b) Modifications de la structure intérieure. — Elles consistent principalement en une *abondante production d'amidon*, accumulé dans les feuilles, la tige et les racines. La feuille ordinaire du Radis est composée (en dehors des couches épidermiques) de 9 strates de cellules. Les 4 couches supérieures constituent le tissu palissadique, les cinq inférieures un tissu lâche et spongieux. Les cellules des strates supérieures contiennent des grains de chlorophylle mais pas d'amidon.

Les Radis cultivés en milieu glucosique montrent, dans les corpuscules chlorophylliens des couches supérieures, de très petits grains d'amidon ; des grains plus gros et plus nombreux dans le tissu spongieux, et une abondance de gros grains dans le parenchyme qui entoure les gros faisceaux de la tige et du pétiole (y compris le parenchyme du bois et du liber).

Les cellules du *tubercule* normal contiennent seulement un peu de glucose en solution dans le suc cellulaire, mais pas d'amidon du tout. Dans la plante qui a poussé sur glucose, toutes les cellules du tubercule sont chargées d'amidon. Ils présentent l'apparence d'un tubercule de Pomme de terre ou de Ficaire.

En résumé, le glucose agit de trois façons :

1° Comme substance nutritive : il augmente la provision de sucre ;

2° il favorise le développement de la chlorophylle et par là, encore, la formation du sucre ;

3° comme milieu extérieur déshydratant : il favorise considérablement la réduction des sucres et leur transformation en amidon.

Molliard a aussi montré que, sous l'influence de ces conditions, semblables à celles où se trouvent les cotylédons pendant le développement de la plantule, les feuilles présentent un *aspect cotylédonaire*.

Dans une autre série d'expériences, Molliard a établi que les plantes *vertes*, à la lumière, peuvent croître en milieu fermé *sans acide carbonique*, si des substances organiques sont mises à leur disposition. Elles les utilisent directement et croissent ainsi à la façon des plantes saprophytes. En même temps elles montrent des modifications structurales. Si un Radis est planté dans un milieu contenant du *saccharose*, comme le saccharose n'est pas directement assimilable par les végétaux — pas plus que par les animaux — il est tout d'abord décomposé en glucose et en lévulose par le ferment spécifique appelé *invertine* (ou sucrase), excrété par les racines du Radis et de certaines autres plantes. Il y a deux cas à distinguer :

1° Le Radis est placé en atmosphère confinée, par exemple dans un très large tube de verre fermé. Dans ce cas il n'a aucune quantité d'acide carbonique à sa disposition et ne peut pas, par fonction chlorophyllienne, élaborer du sucre ou de l'amidon.

La plante, alors, absorbe les substances organiques toutes faites, directement par ses racines, et les accumule sous forme de réserves dans ses tissus. En même temps certaines alté-

rations morphologiques et histologiques se produisent : le Radis tout d'abord perd rapidement ses feuilles, il pousse ensuite de nouvelles feuilles, petites et crêpues, et des fleurs dont aucune n'arrive à s'ouvrir. La structure interne est également profondément modifiée. Dans la tige : l'écorce est plus épaisse ; les formations libero-ligneuses secondaires sont plus abondantes ; les vaisseaux du bois sont ronds et ont un calibre plus petit, leurs parois sont peu lignifiées : le sclérenchyme qui ordinairement soutient le liber manque. Le liber secondaire est bien plus développé et contient d'abondantes plages criblées.

Les feuilles sont plus minces ; les cellules du tissu palissadique et même celles de l'épiderme sont bourrées d'amidon. Enfin, partout, le parenchyme différencié, principalement autour des faisceaux, est rempli de grains d'amidon. Les tissus, moins différenciés, gardent un caractère embryonnaire.

2° Cultivé au contraire en tubes ouverts, avec libre accès d'acide carbonique, le Radis ne fait pas usage des substances organiques du sol en les absorbant par ses racines. Il ne forme pas de réserves d'amidon ; les tissus sont plus grands et plus différenciés.

Pour résumer les résultats de ces expériences, on peut dire que la tige et le pétiole présentent un aspect semblable à celui des organes souterrains, en comparant ceux-ci à leurs homologues aériens. « En supprimant la fonction chlorophyllienne, ou tout au moins en empêchant celle-ci de donner à la plante plus de carbone qu'elle n'en perd par la respiration, on obtient, à la lumière, une structure analogue à celle qui s'observe en milieu souterrain. L'amidon formé montre qu'il y a une meilleure utilisation des substances organiques en milieu confiné qu'à l'air libre. Il semble se

produire un changement complet dans la circulation des matériaux nutritifs, cheminant dans les conditions normales des parties aériennes vers les parties souterraines, et allant dans le cas des tubes fermés de la racine vers les organes supérieurs. »

Dans une autre série d'expériences exécutées sur des plantes (Radis) enfermées dans des tubes de verre depuis le début de la germination et cultivées dans un milieu contenant 5 p. 100 de glucose et 2 p. 100 d'asparagine, Molliard a retrouvé les caractères structuraux précédents. Mais les cellules de l'écorce de l'axe hypocotylé ont souvent 2 ou 3 noyaux, et subissent une hypertrophie ou une dégénération. Ceci semble dû à l'asparagine. Les végétaux exposés à l'action de la chaleur ou des parasites montrent les mêmes traits. « Chaleur et parasites, conclut Molliard, paraissent ainsi n'intervenir que pour amener dans la cellule des modifications de nutrition analogues à celles que nous avons réalisées directement. »

En résumé, les modifications observées sont les suivantes :

1° apparition de structures analogues à celles des organes souterrains ;

2° (avec l'asparagine) formation de cellules à plusieurs noyaux comme il arrive dans certaines *galles* (qui semblent être des réserves de substances azotées).

Les modifications structurales obtenues sur les plantes en les cultivant sur milieux sucrés sont absolument semblables à celles qui résultent de certains états hygrométriques et photométriques de l'atmosphère. C'est ce que montrent bien les expériences de Molliard sur l'Ajonc *(Ulex europœus)*.

Tandis que l'Ajonc, cultivé sur un milieu purement minéral possède : 1° des feuilles trifoliées ; 2° des feuilles

lancéolées et, 3°, à leur aisselle, des rameaux très courts à extrémité obtuse, quand on le fait pousser sur un milieu contenant de 5 à 10 p. 100 de glucose, 1° la tige s'allonge ; 2° les feuilles simples deviennent extrêmement étroites, et difficiles à distinguer des rameaux de second ordre ; 3° les rameaux du second ordre sont piquants et aussi longs ou plus longs que les feuilles à l'aisselle desquelles ils naissent ; 4° ils portent enfin à leur tour des feuilles piquantes et des rejets de troisième ordre.

Au-delà de 15 p. 100 de glucose le développement de la plante est arrêté ; celle-ci passe à l'état de vie suspendue.

Un Ajonc cultivé sur milieu purement minéral et en atmosphère saturée de vapeur d'eau n'a pas encore, au début de sa croissance, tous ses piquants transformés en feuilles et rameaux, parce que la jeune plante vit encore sur les réserves contenues dans la graine (Molliard) ; plus tard tous les piquants sont transformés en feuilles et en rameaux (Lhotelier). « Nos recherches, conclut Molliard, montrent que *le glucose agit sur les piquants des plantes cultivées dans l'air humide à la manière de la sécheresse ou d'une lumière intense ; l'action de ces deux derniers facteurs se trouve donc, ici encore, ramenée à celle d'une grande concentration cellulaire.* »

La conclusion la plus générale de ces expériences, comme l'a observé Dastre, est que certains caractères morphologiques « sont sous la dépendance très proche des variations de la nutrition ou du chimisme nutritif. »

Variations physiologiques. — Les modifications physiologiques qui se produisent dans les Plantes élevées en atmosphère close et sur matières organiques ne sont pas moins intéressantes. La quantité de chlorophylle contenue dans

les feuilles, par unité de surface, est beaucoup plus grande ; dans le cas d'un Radis cultivé sur un milieu contenant 10 p. 100 de glucose la fonction chlorophyllienne est accrue et devient de deux à quatre fois plus grande (pour une surface égale) que pour un Radis poussé en milieu minéral. Un pigment violet est formé sur le pétiole des feuilles, et l'acidité des feuilles est accrue dans la proportion de 1 à 1,5.

Les échanges respiratoires ne sont pas altérés.

Les plantes sont stériles : elles produisent des fleurs mais pas de graines.

Les changements physiologiques ne sont pas en relation avec la pression osmotique. Ils dépendent des propriétés chimiques de la substance organique. Par exemple, la mannite en solution *isotonique* avec 5 p. 100 de glucose a un effet plus actif qu'une solution de 15 p. 100 de glucose. Le lactose n'a aucun effet. Si de l'asparagine est ajoutée au glucose, l'absorption et l'utilisation des sucres extérieurs par la plante est beaucoup plus considérable. A l'obscurité, l'utilisation des sucres est très faible. Ainsi on peut transformer à la lumière les plantes vertes en plantes saprophytes en les cultivant, en atmosphère confinée, sur des matières organiques.

On a dit déjà, précédemment, que le saccharose n'est pas directement utilisable par les plantes : il faut d'abord qu'il soit décomposé en glucose et lévulose. C'est ce qui est effectué par le Radis au moyen d'un ferment spécifique, l'invertine ou sucrase que les racines de ce végétal sécrètent dans le sol. D'autres plantes, telles que le Cresson alénois n'émettent pas de sucrase et sont incapables d'utiliser le saccharose. Molliard a réussi à faire une association artificielle. A une culture de cresson alénois qui ne pouvait pas vivre sur un milieu de saccharose, il adjoignit des graines de

Radis. Il observa alors que le cresson alénois prospérait : celui-ci tire profit de l'inversion du saccharose opérée par son voisin. On peut voir là un exemple de ces associations végétales si fréquentes dans la nature et qui fournissent l'explication de beaucoup de traits caractéristiques des flores locales.

Le Radis hydrolyse l'urée et la décompose en sels ammoniacaux assimilables par la plante. Celle-ci, d'autre part, est incapable d'assimiler les *amines, la glycérine*, la mannite.

Il semble qu'il y ait un antagonisme et un balancement entre l'absorption du sucre par les racines et la fixation de l'acide carbonique par la chlorophylle des feuilles : quand la quantité CO^2 dans l'atmosphère est optima, l'absorption du sucre par les racines est minima.

Pour terminer on mentionnera encore en quelques mots les observations de Molliard sur le parasitisme chez les plantes. Molliard a étudié l'influence des parasites sur la virescence et la prolifération florale. La virescence est l'atrophie des étamines et leur transformation des sépales, pétales et carpelles, en feuilles vertes, écailles ou lames. Molliard a observé un grand nombre d'exemples de virescence et recherché le déterminisme du phénomène.

Dans *Trifolium repens* et *Trifolium pratense*, toutes les plantes ayant des fleurs virescentes renferment des larves d'un Insecte Rynchophore : *Hylastinus obscurus* (Marsh). La larve creuse des galeries dans la moelle et perce la tige par places. Le végétal ne forme pas de galles. La larve coupe ainsi les vaisseaux du bois ou les obstrue par une gomme. Les individus qui ne sont pas virescents ne sont jamais parasités.

Dans d'autres cas, la virescence est accompagnée de prolifération : les ovules sont transformés en lames foliacées ;

tels sont : *Melilotus arvensis* ; *Cardamine pratensis*, parasitées par des larves d'*Apion* ; *Senecio Jacobæa* parasitée par des larves de *Lixus*.

En résumé : les larves d'Insectes exercent une influence à distance en coupant des vaisseaux de la plante et modifiant ainsi les conditions de nutrition des parties situées plus haut.

LA CULTURE DES VÉGÉTAUX INFÉRIEURS : L. MATRUCHOT

Les Champignons, on le sait, sont des plantes « sauvages », fort rebelles à la domestication, c'est-à-dire à la culture à volonté. Les conditions de la germination de la spore, celles du développement du mycélium et de la formation de l'appareil sporifère (chapeau et pied) sont mal connues. On a probablement à faire dans certains cas à des associations végétales, à des symbioses entre des Thallophytes à mycélium et certaines Bactéries spéciales.

L. Matruchot, seul, ou en collaboration avec Costantin, a réussi, malgré les grandes difficultés à vaincre, à cultiver, à *partir de la spore*, un certain nombre de Champignons basidiomycètes (Champignons à chapeaux). Les Champignons dont il a pu obtenir jusqu'ici le développement complet, depuis la spore, sont : le champignon de couche commun *(Psalliota campestris)* (1893) ; *Collybia velutipes* (1894) ; deux espèces de Pleurotes : *Pleurotus ostreatus* (1898) et *Pleurotus cornucopioïdes* (1910) ; le Pied-Bleu *(Tricholoma nudum ; Tricholoma amethystina)* (1911) et la Lepiote élevée *(Lepiota procera)* (1912).

Voici comment on procède pour cultiver deux d'entre eux.

Le Pleurote corne d'abondance *(Pleurotus cornucopioïdes)* se peut obtenir en semant la spore sur un milieu artificiel en tube de verre fermé. En germant elle donne un mycélium blanc qui se développe bien à 27°. Après 4 mois le chapeau et son pied (appareil sporifère)commencent à apparaître. Il se présente comme une petite masse renflée, au milieu des filaments mycéliens. Il se dégage ensuite du feutrage de ceux-ci, grandit et s'épanouit.

On peut aussi procéder autrement : enterrer des rondelles de bois envahies par des filaments mycéliens qui se sont développés en elles à quelques centimètres sous terre et les maintenir humides par arrosage. On voit alors, après quelques mois, apparaître des touffes de champignons. Elles se succèdent de mois en mois. Chaque touffe se compose de plusieurs chapeaux, ramifications d'un même pied. C'est le bois d'Orme qui convient le mieux.

La Lépiote élevée (*Lepiota procera*), excellent champignon comestible, charnue, s'était toujours montrée rebelle à la culture. Matruchot, en semant la spore de la Lépiote sur des meules tannées ou encore sur des meules de fumier fermenté, a obtenu tout d'abord la formation d'un mycélium, composé de filaments blancs qui, à la longue, s'unissent en cordons de plus en plus gros. En plein air, après un an, deux ou trois pieds avec chapeaux, très grands (20 cm. de hauteur), se sont développés.

En cave, une meule de fumier fermenté ensemencée a fourni pendant près d'un an des récoltes successives de Lépiotes, se succédant à intervalles de 2 à 3 mois.

Variations expérimentales de Tricholoma nudum. — Ma-

truchot a étudié l'influence des conditions de milieu sur la variabilité du Pied-Bleu *(Tricholoma nudum)*. Des expériences préalables de culture en avaient fait connaître les conditions de développement. Le Tricholoma nudum, cultivé à l'obscurité et à température constante, subit, au bout de quelques années, des modifications de ses caractères anatomiques et physiologiques. Il en est ainsi, du moins, pour l'appareil sporifère (pied et chapeau), tandis que le mycélium ne témoigne d'aucune altération. En effet, au bout de 11 années de culture en cave du mycélium réensemencé chaque année dans des meules de feuilles de Hêtre par boutures de parties jeunes : 1° la vitalité du mycélium, s'est montrée parfaitement intacte. (Il n'en est pas de même pour le Champignon de couche dont le mycélium dépérit après quelques bouturages) ; 2° il conserve la faculté de donner des formations sporifères (chapeaux) ; 3° cette faculté subit une sorte de dilatation dans le temps : la période de fructification au lieu d'être limitée à une saison s'étend sur toute l'année.

Modifications morphologiques et physiologiques de l'appareil sporifère. — La culture à l'obscurité, à température constante, fait, au contraire, éprouver des modifications importantes au pied et au chapeau. Il y a un gigantisme marqué de l'appareil sporifère : le pied surtout a grossi ; il est creux et profondément cannelé. Le chapeau est retroussé en forme de corne, les lames descendent sur le pied. Le pigment violet n'existe plus. Il y a disparition des caractères spécifiques.

Tous ces caractères aberrants n'apparaissent que lentement, au bout de plusieurs années. Le goût et le parfum normal subsistent, « ce qui indique, dit L. Matruchot, que le chimisme profond des cellules n'est pas sensiblement modifié. »

BIBLIOGRAPHIE

GUSTAVE CHAUVEAUD : *Recherches sur les tissus transitoires du corps végétatif des plantes vasculaires.* (Annales des Sciences naturelles. 9e sèrie. Botanique, tome XII (année 1910), p. 1-70.)

ID. : *L'appareil conducteur des plantes vasculaires et les phases principales de son évolution.* (Ann. des Sc. natur. 9e série. Botanique, tome XIII (1911), p. 113.)

ID. : *La constitution et l'évolution morphologique du corps des plantes vasculaires.* (C. Rend. Acad. Sc., 1914).

MARIN MOLLIARD : *Sur la production expérimentale de Radis à réserves amylacées.* (C. Rend. Acad. Sc., 21 novembre 1904, p. 885.)

ID. : *Culture pure des plantes vertes dans une atmosphère confinée en présence de matières organiques.* (C. Rend. Acad. Sciences, 14 août 1905, p. 389.)

ID. : *Structure des végétaux développés à la lumière, sans gaz carbonique, en présence de matières organiques.* (C. Rend. Ac. Sciences, 2 janvier 1906, p. 49.)

ID. : *Influence de la concentration des substances sucrées sur le développement des piquants d'*Ulex europæus. (C. R. Ac. Sc., 18 nov. 1907, p. 880.)

ID. : *Virescences et proliférations florales produites par des parasites agissant à distance.* (C. Rend. Acad. Sc., 28 nov. 1904, p. 930.)

L. MATRUCHOT : *Sur la culture nouvelle d'un Champignon comestible, le Pleurote corne d'abondance.* (C. Rend. Acad. Sciences, vol. 151, 27 déc. 1910, p. 1376.)

ID. : *La culture nouvelle, à partir de la spore de la Lépiote élevée.* (C. Rend. Ac. Sc., vol. 155, 16 juillet 1912, p. 226.)

ID. : *Variations expérimentales du Tricholoma nudum.* (Revue génér. de Botanique, tome XXV *bis*, 1914, p. 504.)

ABBEVILLE. — IMPRIMERIE F. PAILLART.

LA "COLLECTION PAYOT" *S'EST ASSURÉE DE LA COLLABORATION DE MM.*

HENRI ANDOYER, Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne.
PAUL APPELL, Membre de l'Institut, Recteur de l'Université de Paris
Lt-Cl. E. ARIÈS, Correspondant de l'Institut.
AUGUSTE AUDOLLENT, Doyen de la Faculté des Lettres de Clermont.
ERNEST BABELON, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.
JEAN BABELON, Attaché au Cabinet des Médailles.
E. BAILLAUD, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Paris.
LOUIS BARTHOU, de l'Académie Française, ancien Président du Conseil, Ministre de la Guerre.
JEAN BECQUEREL, Professeur au Museum.
PAUL BECQUEREL, Docteur ès Sciences chargé d'Enseignement pratique à la Sorbonne.
HENRY BÉRENGER, Sénateur.
A. BERTHOUD, Professeur à l'Université de Neuchâtel.
GABRIEL BERTRAND, Professeur à la Sorbonne et à l'Institut Pasteur.
MAURICE BESNIER, Professeur à l'Université de Caen.
G. BIGOURDAN, Membre de l'Institut, Astronome de l'Observatoire de Paris.
F. BOQUET, Astronome de l'Observatoire de Paris.
Abbé J. BOSON, Docteur en Philologie orientale.
Dr PIERRE BOULAN.
PIERRE BOUTROUX, Professeur au Collège de France.
EDMOND BOUTY, Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne.
E. BRANLY, Membre de l'Institut, Professeur à l'Institut Catholique.
ÉMILE BRÉHIER, Maître de conférences à la Sorbonne.
BRETIGNIÈRE, Professeur à l'Ecole nationale d'Agriculture de Grignon.
M. BRILLOUIN, Professeur au Collège de France.
BUSSARD, Professeur à l'Ecole nationale d'Horticulture de Versailles.
RENÉ CANAT, Docteur ès Lettres, Professeur de Rhétorique supérieure au Lycée Louis-le-Grand.
Dr CAPITAN, Membre de l'Académie de Médecine, Professeur au Collège de France, Professeur à l'École d'Anthropologie.
J. CARCOPINO, Ancien Membre de l'École de Rome, Professeur à la Sorbonne.
A. CARTAULT, Professeur à la Sorbonne.
G. CHAUVEAUD, Directeur de laboratoire à l'École des Hautes-Études.
HENRI CHERMEZON, Docteur ès Sciences, Chef de travaux à la Faculté des Sciences de Strasbourg.
Ct DE CIVRIEUX.
Dr G. CONTENAU, chargé de Mission archéologique en Syrie.
H. CORDIER, Membre de l'Institut, Professeur à l'École des Langues orientales.
M. COURANT, Professeur à l'Université de Lyon.
MAURICE CROISET, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.
ÉDOUARD CUQ, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Droit.
L. DAUPHINÉ, Docteur ès sciences, chargé d'Enseignement pratique à la Sorbonne.
P. DECHAMBRE, Membre de l'Académie d'Agriculture.
MAURICE DELACRE, Membre de l'Académie Royale de Belgique, Professeur à l'Université de Gand.
M. DELAFOSSE, ancien Gouverneur des Colonies, Professeur à l'École coloniale.

COLLABORATEURS DE LA " COLLECTION PAYOT "

ED. LE ROY, Membre de l'Institut.
JEAN LESQUIER, Docteur ès Lettres, Agrégé de l'Université.
S. LEVY, Professeur au Collège de France.
MAURICE LIBER, Chargé de cours à l'École Rabbinique, Professeur suppléant à l'École des Hautes-Études.
L. LINDET, Membre de l'Institut.
H. L

